



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní



ALTERNATIVNÍ METODA MĚŘENÍ TRANSPORTU KAPALNÉ VLHKOSTI U FUNKČNÍCH MATERIÁLŮ

Diplomová práce

Studijní program: N3106 – Textilní inženýrství
Studijní obor: 3106T017 – Oděvní a textilní technologie

Autor práce: Bc. Tereza Pouchová
Vedoucí: Ing. Renáta Nemčoková

práce:





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering



ALTERNATIVE METHOD OF MOISTURE MEASURING IN A FUNCTIONAL MATERIALS

Diploma thesis

Study programme: N3106 – Textile Engineering
Study branch: 3106T017 – Clothing and Textile Engineering

Author: Bc. Tereza Poučková
Supervisor: Ing. Renáta Nemčoková



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tereza Pouchová**
Osobní číslo: **T12000401**
Studijní program: **N3106 Textilní inženýrství**
Studijní obor: **Oděvní a textilní technologie**
Název tématu: **Alternativní metoda měření transportu kapalné vlhkosti u funkčních materiálů**
Zadávající katedra: **Katedra oděvnictví**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zpracujte rešerši týkající se transportu vlhkosti textilií.
2. Definujte základní pojmy týkající se teorie termografie.
3. Navrhněte experiment pro zjištění šíření kapalné vlhkosti textilií pomocí termografické techniky.
4. U vytypovaných materiálů proveďte experiment stanovení emisivity textilních materiálů a následně navržený experiment.
5. Proveďte standardizované měření textilií pro měření šíření kapalné vlhkosti na zařízení Moisture management tester.
6. Diskutujte výsledky získané z experimentů.



Rozsah grafických prací: dle rozsahu dokumentace

Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- FLIR SYSTEMS. User's manual. X6540sc-X6550sc, 2013.
- Junyan Hu, Yi Li, Kwok-Wing Yeung, Anthony S. W. Wong, Weilin Xu, Moisture Management Tester: A Method to Characterize Fabric Liquid Moisture Management Properties, Textile Research Journal, January 2005
- Olga Troynikov, Wiah Wardiningsih, Moisture Management Properties of Wool/Polyester and Wool/Bamboo Knitted Fabrics for the Sportswear Base Layer, Textile Research Journal, January 2011
- DRASTICH, A. Netelevizní zobrazovací systémy. VUT v Brně, Brno, 2001. 80-214-1974-1.
- Kolářová, J. Analýza šíření kapalně vlhkosti textilií. Liberec, 2013. 85 s. Diplomová práce na Fakultě textilní Technické univerzity v Liberci na katedře oděvnictví.
- Vollmer M., Mollmann K.P., Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications , 2010, ISBN: 978-3-527-40717-0
- Ing. Jiří Svoboda : Termodiagnostika, učební texty
- Bivainyte A., Mikučioniene D., Investigation on the Air and Water Vapour Permeability of Double-Layered Weft Knitted Fabrics, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2011, Vol. 19, No. 3 (86)

Vedoucí diplomové práce: Ing. Renáta Nemčoková
Katedra oděvnictví

Datum zadání diplomové práce: 2. listopadu 2013
Termín odevzdání diplomové práce: 19. května 2014


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka




doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 2. listopadu 2013

Technická univerzita v Liberci
Doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
Katedra oděvnictví, FT
Studentská 2
461 17 Liberec

ŽÁDOST

Žádám o prodloužení termínu odevzdání diplomové (bakalářské) práce do *ledna 2015*

Název diplomové (bakalářské) práce: *Alternativní metoda měření transportu kapalné vlhkosti v funkčních materiálech*


Jméno vedoucího diplomové (bakalářské) práce: *Ing. Renata Nemicková*

Jméno, příjmení a adresa žadatele: *Jana Pamborová*.....

Augustinova 2086, Praha-4 Chodov, 148 00
Podpis žadatele: *Pamborová*


Datum podání žádosti: *13. 5. 2014*

Vyjádření vedoucího práce:

Souhlasím. 

Vyjádření vedoucího katedry:

150514

Souhlasím. 

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ
Katedra oděvnictví

PROHLÁŠENÍ

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

V Liberci dne 8. 1. 2015

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych ráda poděkovala vedoucí mé diplomové práce Ing. Renátě Nemčokové za cenné rady a přátelský přístup při realizaci této práce. Dále bych ráda poděkovala panu Geislerovi za vyhotovení stojánku pro experiment. Velké díky patří zejména mé rodině a přátelům za podporu a zázemí, které mi poskytovali po celou dobu studia.

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá měřením transportu kapalné vlhkosti u funkčních materiálů pomocí několika metod. Metoda simuluje transport potu od pokožky. Měřicím zařízením byla termovizní kamera. V rešeršní části se zabývá oborem termografie a problematikou týkající se transportu vlhkosti v textilií. V experimentální části jsou popsány experimenty pro zjištění šíření kapalné vlhkosti pomocí termografie a měření na přístroji MMT. Dále je popsán experiment stanovení emisivity textilních materiálů. V závěru každého experimentu je vyhodnocení naměřených a zpracovaných dat. Práce je doplněna o diskuzi výsledků získaných z experimentů.

ANNOTATION

This diploma thesis follows up the moisture transport measuring of functional materials by using a few methods. This method simulates transport of sweat of the skin. Thermovision camera has been used for measuring. The research part is specialized to thermography and moisture transport issue in textiles. In the experimental part is described experiments to find spreading of moisture by using thermography and moisture management tester device. Further is a described experiment to define textile materials emisivity. The ending of every experiment includes an evaluation of measured and processed data. The experiments result discussion is attached.

KLÍČOVÁ SLOVA

Emisivita

Termovize

Termokamera

Transport vlhkosti

KEY WORDS

Emisivity

Thermovision

Thermacam

Transport of moisture

SEZNAM ZKRATEK

aj. – a jiné

atd. – a tak dále

IČ- infračervené

MMT- Moisture management tester

např. - například

resp. – respektive

tj.- to jest

ε - emisivita

jpeg- joint photographic experts group

avi- audio video interleave

ČSN- Česká technická norma

FR- fire resistant

mm- milimetr

s- sekunda

OBSAH

ÚVOD.....	11
REŠERŠNÍ ČÁST.....	12
1 Termografie	12
1.1 Termogram.....	12
1.2 Infračervené záření.....	13
1.3 Princip termografie.....	13
1.4 Termovizní kamera	14
1.4.1 ThermaCAM S60.....	14
1.4.2 ThermaCAM X6540sc	15
1.5 Pojmy	16
1.5.1 Emisivita.....	16
1.5.2 Zdánlivá odražená teplota	16
1.6 Určení součinitele emisivity	17
1.7 Oblasti použití.....	17
1.8 Využití termovizní techniky v textilním průmyslu	18
1.8.1 Měření transportu vlhkosti a tepla	18
1.8.2 Hodnocení nestejnoměrnosti textilie při procesu sušení.....	19
1.8.3 Měření součinitele tepelné vodivosti.....	19
2 Termofyziologický komfort.....	21
2.1 Studie termofyziologického komfortu	21
2.2 Transport vlhkosti a tepla	22
2.2.1 Procesy spojené s transportem vlhkosti	23
2.2.2 Sorpce a desorpce	24
2.2.3 Konvekce.....	24
2.2.4 Difúze	25
2.2.5 Kapilární odvod	25
2.2.6 Faktory ovlivňující transport vlhkosti	25
2.3 Stanovení mechanismu transportu vlhkosti	27
2.4 Analýza vlhkosti v oděvních textiliích	27
3 Pleteniny	28
3.1 Rozdělení pletenin.....	28
3.2 Vlastnosti pletenin.....	28
3.3 Používané materiály	29
3.4 Funkční pleteniny	30

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	32
4 Charakteristika měřených materiálů.....	32
4.1 Experiment s použitím termovizní techniky	33
4.1.1 Příprava experimentu.....	33
4.1.2 Kalibrace obrazu.....	34
4.1.3 Postup měření.....	35
4.1.4 Zpracování snímků	37
4.1.5 Vyhodnocení dat	38
4.1.6 Dílčí závěr.....	47
4.2 Experiment stanovení emisivity	48
4.2.1 Příprava experimentu.....	48
4.2.2 Postup měření.....	49
4.2.3 Zpracování termogramů	49
4.2.4 Vyhodnocení dat	51
4.2.5 Dílčí závěr.....	52
4.3 Experiment na zařízení Moisture management tester.....	53
4.3.1 Popis zařízení MMT	53
4.3.2 Příprava experimentu.....	55
4.3.3 Postup měření.....	55
4.3.4 Vyhodnocení	56
4.3.5 Dílčí závěr.....	63
4.4 Porovnání metod.....	64
ZÁVĚR	66
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	68
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	71
SEZNAM TABULEK	72
SEZNAM GRAFŮ	73
PŘÍLOHOVÁ ČÁST	74

ÚVOD

V dnešní době je stále více aktivních lidí věnujících se sportu. Při těchto aktivitách sportovci kladou stále větší a větší nároky na komfort. Pro zajištění je využíváno funkčního oblečení. Funkční oděvy se stále prosazují pro indoorové nebo outdoorové sporty a aktivity v letním i zimním období. Ať už v podobě funkčního spodního prádla nebo vrchních a svrchních oděvů. Funkční oblečení přináší skvělé užité vlastnosti. Vynikající vlastností je zejména odvod potu od pokožky.

Předmětem této diplomové práce je zaměřit se na alternativní metody měření transportu kapalné vlhkosti u vybraných textilií určených pro první vrstvu oděvu. V rešeršní části jsou zpracovány pojmy týkající se teorie termografie a problematika transportu kapalné vlhkosti. Zpracována je kapitola o pleteninách, zejména pro výrobu funkčního oblečení.

Experimentální část je rozdělena do několika částí. První část se věnuje návrhu a provedení experimentu pro zjištění šíření kapalné vlhkosti textilií prostřednictvím termovizní techniky. Dále je experimentální část zaměřena na experiment stanovení emisivity textilních materiálů. V neposlední řadě je věnována měření šíření kapalné vlhkosti na přístroji Moisture management testeru.

V závěru jsou diskutovány výsledky získané z těchto experimentů, porovnání metod a určení vhodnosti textilií pro funkční oděvy i vhodnosti těchto alternativních metod.

REŠERŠNÍ ČÁST

1 Termografie

Termografie je vědní obor zabývající se analýzou rozložení teplotního pole na povrchu tělesa bezkontaktním způsobem. Jejím cílem je analýza infračervené energie, kterou těleso vyzařuje. Pomocí termografického měřicího systému lze zobrazit teplotní pole měřeného objektu, ale jen na jeho povrchu.

K širšímu rozvoji termografie došlo spolu s rozšířením infračervených kamer, pro které se používá označení termovizní kamera neboli termovize. Termín termovize je patentován firmou FLIR (dříve Thermovision), která je výrobcem infračervených kamer.

Termokamera je zařízení podobné videokameře, s tím rozdílem, že zobrazuje tepelné vyzařování objektů. Jedná se o zobrazovací systém, který transformuje informaci o rozložení teploty na povrchu snímaného objektu v infračervené oblasti na obraz viditelný lidským okem. Některé infračervené (nyní IČ) kamery umožňují kromě zobrazení teplotních polí i vyhodnocení teploty těchto polí. [1] [2]

1.1 Termogram

Výsledkem termovizní kamery je infračervený snímek, tzv. termogram (termovizní snímek). Infračervené záření je pro lidské oko neviditelné, a tudíž jsou termovizní snímky vizualizovány s použitím okem viditelných palet. Ty přiřazují barvu různým teplotám, resp. různému množství tepelného toku. Stejný snímek tak můžeme zobrazit v odlišných barevných paletách a tím zviditelnit či zdůraznit některá jiná místa. Pro termogramy jsou používány standardní palety, jimiž jsou např. železo, stupně šedi, duha aj. [2] [3]



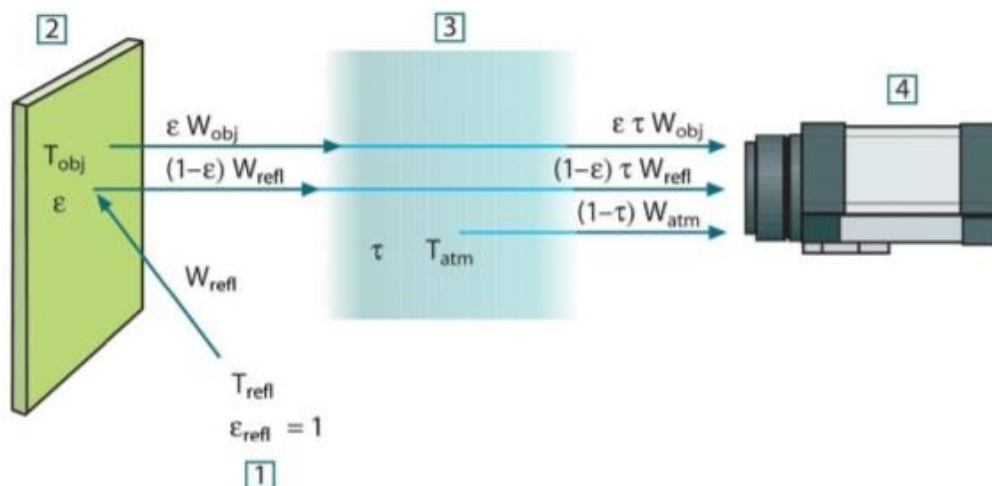
Obr. 1 Palety používané u termogramů

1.2 Infračervené záření

V termografii je využíváno vlnové pásmo infračerveného záření, které je pro lidské oko neviditelná část elektromagnetického spektra projevující se tepelnými účinky. Pásmo infračerveného záření se pohybuje na vlnové délce přibližně od 0,78 μm do 1 mm. Pásmo IČ záření je rozděleno celkem na čtyři pásma- blízké (near wave IR), střední (middle wave IR), vzdálené (long wave IR) a velmi vzdálené (very long wave IR). Blízké IČ pásmo o vlnové délce od 0,75 μm do 2 μm . Střední IČ pásmo o vlnové délce 2 μm až 5 μm . Vzdálené IČ pásmo vlnové délce od 5 μm do 15 μm . Velmi vzdálené IČ pásmo o vlnové délce 15 μm až 1 mm. [2] [3]

1.3 Princip termografie

Principem oboru termografie je detekování zářivé energie vyzařované z měřeného tělesa reprezentující teplotní pole na jeho povrchu. Základní měřicí řetězec zahrnuje měřený objekt, okolí měřeného objektu, atmosféry mezi měřením objektem a měřícím systémem i samotného měřícího systému. Všechny tyto faktory ovlivňují výslednou přesnost měření, neboť vyzařují nebo odrážejí IČ záření.



Obr. 2 Měřicí systém [2]

1.4 Termovizní kamera

K získání snímků pro analýzu transportu kapalné vlhkosti v textiliích byly použity termovizní kamery firmy FLIR, typu S60 a X6540sc. Tyto kamery se liší několika parametry, např. jinou vlnovou délkou. Obě kamery jsou níže popsány.

1.4.1 ThermaCAM S60

Termokamera typu S60 je infračervená kamera s rozlišením 320 x 240 obrazových bodů a automatickým nebo ručním zaostřováním. Součástí kamery se odejímatelný LCD displej a software pro analýzu ThermaCAM Researcher. [4]

Parametry kamery:

Teplotní rozsah: -40 °C až +120 °C, 0 °C až +500 °C, +350 °C až +1500

Přesnost- ± 2 °C nebo ± 2 %

Prostorové rozlišení: 1,3 mrad

Spektrální rozsah- 7.5 až 13 μm

Frekvence obrazu- 60 Hz [4]



Obr. 3 Termokamera S60 [4]

1.4.2 ThermaCAM X6540sc

Termokamera typu X6540sc je infračervená kamera s rozlišením 640 x 512 obrazových bodů a automatickou identifikací obrazu. Součástí kamery je LCD displej a software FLIR R&D. [5]

Parametry kamery:

Teplotní citlivost- 20 mK

Zaostřování- motorické

Přesnost: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 1\%$

Spektrální rozsah: 1,5 - 5,1 μm

Teplotní kalibrace: volitelné od -20°C až do $+3000^{\circ}\text{C}$

Záznamová rychlost při plném rozlišení- 125 Hz [5]



Obr. 4 Termokamera X6540sc [5]

1.5 Pojmy

1.5.1 Emisivita

Součinitel emisivity ε je jedním z důležitých parametrů v termografii. Jeho znalost je jednou ze základních podmínek pro měření teplot pro správné změření a určení teploty. Součinitel emisivity ε závisí na tom, z jakého materiálu je měřené těleso, na jeho vlastnostech jeho povrchu, na teplotě tělesa, vlnové délce a úhlu vyzařování z tělesa. Emisivita je definována jako poměr množství záření emitovaného (vyzařovaného) objektem a záření absolutně černého tělesa. Emisivita absolutně černého je rovna 1.

Většina běžných materiálů nebo upravených povrchů má emisivitu v rozsahu od $\varepsilon = 0,1$ do $\varepsilon = 0,95$. U silně vyleštěného povrchu je emisivita nižší než 0,1. Naopak oxidovaný nebo natřený povrch má emisivitu mnohem vyšší. U olejových barev se emisivita pohybuje nad hodnotou 0,9, a to nezávisle na barvě jednotlivých olejových barev. Lidská pokožka vykazuje emisivitu pohybující se blízko $\varepsilon = 1,0$. Čisté kovy, které nejsou poškozeny oxidací, které jsou případem téměř naprosté nepropustnosti a vysoké odrazivosti se moc nemění v různých vlnových délkách. U kovů je emisivita tedy nízká a zvyšuje se pouze se zvyšující se teplotou kovového tělesa. U nekovových předmětů je emisivita většinou vysoká a snižuje se s klesající teplotou.

1.5.2 Zdánlivá odražená teplota

Zdánlivá odražená teplota je udávána jako poměr odraženého nebo spektrálně odraženého zářivého toku (na měřený objekt) k celkovému zářivému toku dopadajícímu na povrch měřeného objektu.

Dalšími parametry ovlivňujícími měření je vzdálenost od měřeného objektu a okolní atmosféra. [2] [3] [6] [22]

1.6 Určení součinitele emisivity

Existuje několik metod k určení součinitele emisivity ε . Tyto metody jsou používány tehdy, pokud nemáme správnou hodnotu součinitele emisivity k dispozici.

Jednou z metod je kontaktní měření teploty v daném místě či oblasti. Dále je nastavena hodnota zdánlivě odražené teploty a poté zadávána hodnota emisivity do té doby, než je systémem vypočtená teplota shodná s teplotou tělesa změřenou kontaktním způsobem. Způsoby, kterými lze zjistit součinitele emisivity ε :

A, Místo nebo oblast měření je zakryta látkou o známé emisivitě, jako je např. černá barva nebo štítek o známé emisivitě a takto je pomocí termovize bezkontaktně změřena teplota místa či oblasti s tímto zakrytím. Díky tomu je získána hodnota skutečné teploty, jelikož teplota v bezprostředním okolí bude stejná jako v místě zakrytí. Tato hodnota je poté použita při nastavení zdánlivě se odrážející teploty.

B, U členitých objektů s mnoha elementy se objekt nejprve nahřeje v zahřívacím boxu na jednu teplotu. Po vyjmutí objektu ze zahřívacího boxu je v co možná nejkratším čase pořízen termogram. Na termogramu jsou zobrazeny jednotlivé elementy objektu spolu s jinými teplotami. Rozdíl teplot není způsoben jinými teplotami, nýbrž jinými emisivitami jednotlivých elementů. Jelikož je známa hodnota skutečné teploty, je při vyhodnocení emisivity pro jednotlivé elementy využito vyhodnocování podle bodu A.

Pro analýzu teploty textilních materiálů pomocí termografické techniky je nutná znalost součinitele emisivity ε . Stanovení emisivity textilních materiálů bude věnována pasáž experimentální části této diplomové práce. [3] [6]

1.7 Oblasti použití

Měření termovizní kamerou lze využít v mnoha činnostech lidského podnikání. Příkladem může být stavebnictví, zábavní průmysl, fotografie, reklama, ochrana majetku atd. Hlavní oblastí však zůstává stavebnictví, průmysl, energetika a fotovoltika. [7]

Stále častěji je termografie používána v lékařství a to jako neinvazivní bezkontaktní nástroj ke stanovení diagnóz. Využití má zejména v oblasti revmatologie, neurologie, onkologie, rehabilitace a sportovní medicíny. [8]

1.8 Využití termovizní techniky v textilním průmyslu

V posledních několika letech je termovizní technika používána i v textilním průmyslu. V rámci této diplomové práce bude technika termovize použita pro měření transportu kapalně vlhkosti. V následujících řádcích jsou uvedeny některé dosud provedené experimenty v tomto oboru získané z bibliografických citací.

1.8.1 Měření transportu vlhkosti a tepla

Na Lodžské univerzitě v Polsku prováděli experiment, kdy za použití termovizní kamery měřili transport tepla a vlhkosti u oblečení pro aktivní složku policie. Oblečení pro tuto skupinu se skládalo z několika vrstev, kde každá vrstva oděvu vykonávala samostatnou a specifickou funkci. Hodnocení bylo prováděno u skupiny 9 probandů, mužů ve věku 35- 46 let o tělesné hmotnosti od 92 do 140 kg. Výška postavy se pohybovala v rozmezí 171-192 cm. Podle normy ISO byla před samotným testováním provedena všeobecná zdravotní prohlídka. [9]

Experiment byl měřen na dvou sadách (kompletech) oblečení označených jako Systém I a Systém II. Oba systémy byly určeny jako vhodné pro použití v mírných klimatických podmínkách. Systém I se skládal z kalhot, trička, standardního sportovního prádla, ponožek a bot určených na sport. Systém II se skládal ze stejných komponent, ale navíc byla přidána vrstva trička s krátkým rukávem. Všechny oděvy byly vyrobeny ze 100% bavlny.

Infračervená kamera firmy FLIR byla použita pro určení teploty na povrchu těla. Pořízena byla sekvence termogramů. Pro stanovení množství potu absorbovaného oděvem byla každá část oděvu zvážena před a po každém měření. Určeny byly teploty jednotlivých částí těla u obou systémů, a následně byly i oba systémy vzájemně porovnány. Po měření byli probandi požádáni, aby vyplnili dotazník, jenž zahrnoval např. údaje, zda se cítí pohodlně či nepříjemně aj.

Studie Lodžské univerzity ukázala, že termografie je účinným nástrojem pro posuzování teploty pokožky a odpařování potu z oděvu. Informace získané z tohoto experimentu posloužily pro konstrukci nových systémů oděvů s maximálním účinkem odpařování potu. [9]

1.8.2 Hodnocení nestejnoměrnosti textilie při procesu sušení

Další studie, která byla provedena s použitím termovizní techniky, se zaměřila na hodnocení nerovností textilií při procesu sušení.

Při procesu sušení je nezbytné, aby textilie byla rovnoměrně rozprostřena, neboť by mohlo docházet k nerovnostem a zkreslení výsledků měření. Vzorky zvolených textilií byly sušeny v sušicím zařízení při počáteční teplotě 20 stupňů Celsia. Před vlastním měřením a po měření (vyndání ze sušicího zařízení) byly pořízeny termogramy. Celý tento experiment byl proveden ve velmi krátkém časovém intervalu.

Vypozorován byl pokles maximální teploty po vyndání ze sušicího zařízení. V samotném závěru této studie bylo řečeno, že zvolený způsob měření rovnoměrnosti textilie za použití termovizní techniky je vhodný. [10]

1.8.3 Měření součinitele tepelné vodivosti

Metodu termovizní analýzy lze použít i pro měření součinitele tepelné vodivosti. Tento experiment se skládal z infračervené kamery FLIR P-45, softwaru TESTO 635-2 a termostatu. Nejprve byl pokládán vzorek pleteniny o rozměrech 250x250 mm na termostat. Infračervená kamera byla nastavena na interval 15 minut pro zachycení 5 snímků každé tři minuty. Termogramy byly generovány pro každý vzorek a zpracovány softwarem firmy FLIR.

Průzkum byl proveden na vzorcích dvojvrstvé pleteniny vyrobené z bavlny (na straně pokožky) nebo syntetických přízí (na vnější straně). Bylo vypozorováno, že tepelná vodivost klesá s hustotou a hmotností na jednotku plochy textilie, zatímco tepelný odpor se zvyšuje.

Výsledky ukázaly vliv strukturálních charakteristik vláken. Pletenina vyrobená z 50% polyakrylonitrilu a 50% bavlny s nejvyšší hustotou a hmotností na jednotku plochy umožňuje nižší propustnost vodních par a vzduchu, vyšší tepelnou vodivost ve srovnání s pleteninou ze 100% vlny a 100% polyakrylonitrilu. [11]

2 Termofyziologický komfort

Jedním z nejdůležitějších aspektů pro výrobce oděvů a jejich uživatele je komfort, ať už se jedná o oděvy pro běžné použití nebo pro sport. V rámci této práce se zaměříme na termofyziologický komfort. Termofyziologický komfort je ovlivněn několika aspekty, kterými jsou např. vlhkost vzduchu pod oděvem, vlhkost pokožky, teplota vzduchu pod oděvem a teplota pokožky.

Je tedy patrné, že důležitými vlastnostmi oděvních materiálů je propustnost a transport vlhkosti, propustnost vzduchu a vody aj. Termofyziologický komfort není ovlivněn pouze těmito uvedenými vlastnostmi, nýbrž mají významný vliv.

2.1 Studie termofyziologického komfortu

Během posledních let bylo provedeno několik studií na termofyziologický komfort u textilií. S. Anand zjistil, že otevřená konstrukce textilie má lepší propustnost vodních par než mají mikroválka. L. Milenkovic v roce 1999 dokázal, že tloušťka textilie a vnější pohyb vzduchu jsou hlavními faktory, které ovlivňují přenos tepla přes textili.

Profesor Hes a ostatní vyvinuli dvojvrstvou funkční pleteninu skládající se z polypropylenu a bavlny, aby se co nejvíce zvýšil transport vlhkosti. Ucar a Yilmaz porovnávali žebrové pleteniny 1x1, 2x2, 3x3. Všimli si, že čím má pletenina hustší vazbu, tím dochází ke snížení tepelných ztrát a zároveň ke zvýšení tepelné izolace materiálu. Matematické modely vyvinuté Maxwellem, Smithem, Messmerem a řadou dalších ukazují, že vztah mezi tepelnou vodivostí porézního prostředí a jeho tepelně fyzikálními vlastnostmi je nelineární. [11]

Tepelný odpor je mírou tepelné izolace materiálu. Je definována jako množství tepla přeneseného přes jednotku tloušťky ve směru kolmém k povrchu na jednotku plochy.

V experimentu byla změřena prodyšnost, propustnost a tepelná vodivost u textilií. Pro účely studie byly vybrány vzorky pletenin vyrobené ze 100 % polyakrylonitrilu, 50% polyakrylonitrilu a 50% bavlny a 100% vlny. Upleteny byly na pletacím stroji STOLL CMS 12. Všechny pleteniny byly vyrobeny z příze stejné jemnosti. Konstrukční

vlastnosti pletenin zahrnují tloušťku tkaniny v mm, plošnou hmotnost (g/m^2) a délku smyčky.

Měření prodyšnosti pletených vzorků bylo provedeno podle normy EN ISO 9237 za standardních klimatických podmínek. Pro měření propustnosti pletenin byly zhotoveny vzorky o rozměrech 15x15 cm. Měření bylo uskutečněno na přístroji skládajícího se z termostatu a skla o průměru 89 mm. Hladina vody při měření stoupá až na 35 mm, tj. pod horní hranu skla. Na sklo byl pokládán zkoumaný vzorek a byl zaznamenáván přírůstek hmotnosti vzorku. [11]

2.2 Transport vlhkosti a tepla

Transport vlhkosti je jednou z důležitých vlastností termofyziologického komfortu a tato diplomová práce je na něj zaměřena.

Na transportu vlhkosti se podílejí vlastnosti jako odpařování, kapilární odvod, migrace a difúze. Transport tepla a vlhkosti u oděvních materiálů je složitý. Závisí na tělesné teplotě, lidské činnosti, počtu vrstev oděvů a podmínkách prostředí. Transport vlhkosti může být obousměrný. Závisí pouze na rozdílu parciálních tlaků vodní páry a difúzním koeficientu, což je dáno propustností bariérových textilií.

Pro bariérové textilie je typickou vlastností odolnost proti průniku vody. Pro sportovní oděvy, aby propustnost vody byla malá nebo žádná, jelikož vlhkost výrazně snižuje tepelnou izolaci textilních materiálů. V dnešní době existuje systém skládající se z funkčních oděvů, které tyto vlastnosti splňují. [12]

U bariérových textilií je možné stanovit hodnotu odolnosti proti pronikání vodní páry. Tuto hodnotu lze použít pro zjednodušený model transportu vlhkosti a propustnosti vodních par. V podmínkách, kdy je teplota v mikroklimatu mezi lidským tělem a bariérovou textilií s odhadovanou plochou $2,5 \text{ m}^2$, teploty $T_1 = 35$ stupňů Celsia a relativní vlhkosti 80% je parciální tlak 4213,3 Pa. Při teplotě $T_2 = 20$ stupňů Celsia a relativní vlhkosti 40% je odpovídající tlak vodní páry 893,1 Pa. Toto je zjednodušený odhad, za předpokladu, že transport vlhkosti je stabilní ve všech částech sportovního oblečení. Podle Delljova dokáže člověk během tvrdé práce nebo intenzivního

sportovního výkonu vyprodukovat přibližně 1000 g vlhkosti. Tudiž je možné říci, že v těchto podmínkách je membrána vynikající.

Přenos tepla je možné popsat pomocí Fourierovy hypotézy o šíření tepla v těle. Velikost přestupu tepla je dána zejména velikostí součinitele tepelné vodivosti, která je ovlivněna typem textilního materiálu, počtem vrstev oblečení a zejména vzduchem uzavřeným v oděvních materiálech. Tento vzduch je významný tepelný izolant. [12]

2.2.1 Procesy spojené s transportem vlhkosti

Významnou roli v transportu vlhkosti hrají procesy, které jsou závislé na obsahu vlhkosti v materiálu, typu použitého materiálu, atmosférických podmínkách a pocení. Termofyziologický komfort spojen s tepelnou rovnováhou lidského těla a snaží se udržovat konstantní tělesnou teplotu jádra okolo 37 stupňů Celsia a nárůst nebo pokles o ± 5 stupňů Celsia. Pochopení těchto jednotlivých procesů spojených s transportem vlhkosti je velmi důležité pro navrhování textilií, aby oděvy z nich vyrobené splňovaly požadavky uživatele. [13]

Při běžných atmosférických podmínkách a za běžné sportovní aktivity se teplo uvolňuje do atmosféry vedením, konvekcí a radiací. Při vyšší úrovni aktivity nebo při vyšších teplotách ovzduší dochází k aktivaci potních žláz a k výrobě kapalného potu. Je-li pot uvolňován do ovzduší, nese teplo (latentní) a snižuje tělesnou teplotu. Dochází-li během pocení k pomalému přenosu vlhkosti, relativní a absolutní vlhkost je zvýšená, potlačuje se odpařování potu. Může to mít za následek tepelný stres. Je-li poměr odpařeného potu a potu vyrobeného velmi nízký, bude se vlhkost hromadit ve vnitřní vrstvě textilie, čímž dojde ke snížení tepelné izolace oděvu a ztrátě tělesného tepla. [13]

Vlhkost se může přenášet prostřednictvím textilních materiálů v plynné nebo kapalně formě. Vodní páry mohou procházet textilními vrstvami následujícími mechanismy, kterými jsou difúze vodní páry přes vrstvy, absorpce a desorpce vodních par do vláken, adsorpce a migrace vodní páry podél povrchu vláken, přenos vodních par a řízení prouděním vzduchu. Tlakový spád par působí jako hnací síla v oblasti přenosu vlhkosti z jedné strany textilní vrstvy na druhou. Vodní pára se může šířit přes textilní strukturu ve dvou směrech a to mezi vlákny nebo podél vlákna samotného. V případě difúze podél vlákna, vodní pára difunduje z vnitřního povrchu textilie na povrch vláken a poté

cestuje podél vnitřku vláken na její povrch. V případě hydrofilních vláken k difúzi par nedochází. [13]

2.2.2 Sorpce a desorpce

Sorpce a desorpce jsou důležité procesy pro udržení mikroklimatu v přechodných podmínkách. Pan Barnes a pan Holcombe, studovali rozsah rozdílů v transportu vlhkosti způsobené sorpcí materiálu a na vnímání těchto rozdílů. Adsorpce molekuly vody probíhá pod kritickou teplotou v důsledku Van der Waalských sil. Čím vyšší je tlak par a čím nižší je teplota, tím je vyšší vstřebávání. Množství vodní páry, které může být absorbováno do materiálů, závisí na typu vlákna a vlhkosti ovzduší (%). V případě vláken jako je např. bavlna a hedvábí, sorpční vlhkost není závislá pouze na vlhkosti, ale také jevu spojeného s hysterezí, sorpčním účinku tepla a rozměrových změnách. Při bobtnání vlákna se snižuje velikost pórů mezi vlákny, čímž se snižuje prostup vodní páry do materiálu. Kapiláry mezi vlákny se ucpou, což má za následek nižší odvod. [13]

2.2.3 Konvekce

Konvekce je model přenosu vlhkosti, který se koná při proudění vzduchu přes vlhkou vrstvu. Přenos hmoty v tomto procesu je řízen rozdílem v koncentraci vlhkosti mezi okolní atmosférou a vlhkosti zdroje. Odpařování a kondenzace jsou závislé na teplotě a rozložení vlhkosti u pórovitých textilií. Při odpařování potu dochází k ochlazení těla a proud vzduchu zvyšuje přenos tepla odpařováním, což má za následek dostatečné ochlazení, které je žádoucí při špičkovém výkonu. Kondenzace je přímým důsledkem tkaninou nasyceného kapalného potu. Vyskytuje se běžně při teplotě okolního vzduchu.

Prezentované výsledky z laboratorních testů potvrdily, že ke kondenzaci dojde při teplotách pod 10 stupňů Celsia. U nepromokavých materiálů je pravděpodobnost výskytu kondenzace vysoká. U zpočátku suchého porézního materiálu probíhá ve třech fázích. Nejprve je počátek kondenzace, poté dochází ke zvýšení obsahu kapaliny, ale ten je příliš nízký, aby došlo k pohybu. Jakmile se obsah kapaliny zvyšuje, dojde k překročení kritické hodnoty a začne se pohybovat. Pokud je koncentrace par na obou stranách materiálu na úrovni nasycení, dojde ke kondenzaci v celé tloušťce materiálu. Rychlost vodní páry se zvyšuje se zvýšením obsahu vlhkosti a dochází ke kondenzaci ve vnitřní vrstvě materiálu. [13]

2.2.4 Difúze

Difúzní prostup vlhkosti z povrchu lidského těla je realizován prostřednictvím pórů. Póry se svou velikostí a křivolakostí zúčastňují na kapilárním odvodu. U textilií prostupuje vlhkost ve směru s nižším parciálním tlakem vodní páry. Difúzní odpor jednotlivých vrstev je sčítán, přičemž významnou roli zde hraje i odpor vzduchových mezivrstev. V porézním prostředí, jakým lze označit textilie, je přenášena pára vedením resp. difúzí otvory (kanály) vyskytující se v jednotlivých součástech oděvu. Na difúzní odvod vlhkosti mají vliv vlákenné suroviny, z nichž jsou textilie vyrobeny. [13]

2.2.5 Kapilární odvod

Ke kapilárnímu odvodu potu dochází tak, že kapalný pot, který ulpívá na kůži je v kontaktu s první vrstvou oděvu a jejími kapilárními cestami vztlíná do její plochy všemi směry. Jedná se o tzv. knotový efekt. K docílení intenzivního odvodu potu je nutné, aby struktura příze byla kompaktní a prostor mezi speciálně tvarovanými vlákny co nejmenší. Mezi kapalinou a vláknem musí být dostatečně malá adheze, zejména proto, aby výsledný silový účinek preferoval pohyb vlhkosti. Adhezní síly převyšují kapilární např. u vláken bavlněných a viskózových.

Po zavlhčení bavlněné pleteniny kapkou vody dojde k rozšíření vlhkosti do kruhu menšího než 20 mm, zatímco u polyesterové pleteniny se kapka vody rozšíří do kruhu o průměru 50 mm. Lokální zatížení textilie absorbovaným potem poklesne a tím nedojde ke vzniku diskomfortního vjemu při kontaktu. [13]

2.2.6 Faktory ovlivňující transport vlhkosti

Dalším faktorem majícím vliv na odvod vlhkosti má zakrucování pórů. Závisí to na uspořádání vláken nebo na nesrovnalostech v průměru vlákna. S vyšším zakroucením pórů dochází ke snížení nasákavosti. Hustota a geometrie pórů textilie se mění v závislosti na struktuře textilie a má vliv na proudění kapaliny. [13]

Za normálních podmínek činí pot u člověka přibližně 15g/m^2 . Při zvyšující se aktivitě či teplotě dochází ke zvýšení až na hodnotu 100g/m^2 . V důsledku hromadění vlhkosti

v oděvu dochází ke snížení tepelné izolace oblečení a toto snížení se pohybuje už od 2% do 8% obsahu vlhkosti. Proto u řady činností, kdy je produkce potu velmi vysoká je dynamická povrchová vlhkost velmi důležitým faktorem. Bavlněné materiály jsou vysoce smáčivé, dynamický povrch není velmi dobrý, vytváří se lepkavý pocit ve vysokém stavu pocení. U polyesterových vláken je smáčivost naopak špatná.

V přechodném vlhkém prostředí je vlhkost přepravována skrz textilii v kapalně i plynné formě. Ve studiích pana Barnese a Holcomba bylo zjištěno, že k transportu vlhkosti ve vlhkých přechodných podmínkách dochází ve třech různých fázích. Během první fáze vodní pára difunduje do textilie v důsledku koncentračního gradientu dvěma povrchy. Mezitím kapalná voda začne vytékat z oblastí s vyšším obsahem tekutin do sušších oblastí. Během druhé fáze je sorpční vlhkost vláken mnohem pomalejší než v první fázi, a trvá několik minut či několik hodin v závislosti na přenosu tepla. V třetí fázi se zvyšuje sorpční proces, který je v ustáleném stavu. [13]

Transport vlhkosti přes textilní materiál je spojen nejen s přenosem hmoty, ale rovněž s přestupem tepla. Během přenosu molekuly vody přes textilní materiály dochází k absorpci vzhledem k jejich chemické povaze a uspořádání. Množství tepla vyrobeného je závislé na savosti materiálu. Jakmile se zvýší teplota na povrchu materiálu, dochází ke snížení rychlosti přenosu par. Se vzrůstající vlhkostí roste účinnost přenosu tepla.

Vztah mezi šířením vlhkosti a přenosem tepla je závislý na celé řadě vlastností, jako je např. průměru vláken, vodní páře, difúzním koeficientu, hustotě a sorpčním teplem. Chladicí efekt je spojen s pocením ve chladném prostředí. Při náhlém zvýšení relativní vlhkosti v ovzduší absorbují látky vlhkost a dochází k vytváření tepla. Chladicí účinek byl zkoumán S. Smithem, který zjistil, že k jeho nástupu dojde v horkém prostředí, zatímco v případě nízkých teplot by mohl mít mrazivý dopad. Zároveň dochází ke snížení pracovního výkonu, neboť se člověk dostává do stavu podchlazení. Když vodní pára (pot) přichází do kontaktu s chladnou stěnou (oblečení), snižuje se tepelná izolace oděvu. [13]

2.3 Stanovení mechanismu transportu vlhkosti

Na textilní škole v Severní Karolině byl proveden experiment zaměřený na transport vlhkosti. Cílem experimentu bylo stanovení mechanismu, při kterém dochází k transportu vlhkosti v přechodných podmínkách s nízkým obsahem vlhkosti. Testovány byly různé typy oděvních textilií na různých úrovních vlhkosti v rozmezí od 3% do 100%. Mezi testovanými textiliemi byla textilie ze 100% bavlny bez potisku, poskytnutá firmou Cone Mills Incorporated. Dále textilie ze 100% polyesteru firmy Springs Mills Incorporated opatřená hydrofilní úpravou zvanou Zelcon, získaná od společnosti duPont. Součástí testu byly i trička vyrobená ze 100% bavlny, 100% polyesteru, 60% bavlny a 40% polyesteru. Všechny textilie byly vyrobeny ze střížových vláken. Výjimkou byly trička ze 100% polyesteru, která byla vyrobena z tvarovaných přízí. [14]

2.4 Analýza vlhkosti v oděvních textiliích

Byly provedeny pokusy, při kterých se měřila lokálně plocha vlhkosti na nebarvených oděvních textiliích. Jako indikátor množství obsažené vlhkosti byl pro měření použit chlorid kobaltnatý. Chlorid kobaltnatý má podobu bleděmodrého prášku a postupnou hydratací mění svou barvu. Barva prášku se mění na modrofialovou, tmavě fialovou, růžově fialovou, broskvově fialovou až červenou barvu. Definování barvy pomocí chloridu kobaltnatého přispělo k určení komfortu textilních materiálů na základě vlhkosti. Textilní materiály byly uzavřeny do polyethylenových sáčků obsahujících různé úrovně vlhkosti. Pozorovatelé tak mohli vidět 10 odlišných barevných variant, které byly uvedeny v tabulce vzestupně podle úrovně vlhkosti. Množství vlhkosti se pohybovalo v řádu od 1% do 10%. Barevné změny byly subjektivně hodnoceny podle standardů barevného Munsellova systému. [15]

Pro hodnocení ztráty vlhkosti bylo použito simulované potíci zařízení, na kterém byly měřeny textilní materiály z bavlny, polyesteru a jejich směsí. Materiály byly upnuty v rámu tohoto zařízení, které bylo zahřáto na teplotu lidské pokožky. Účelem měření byla studie transportu vlhkosti v závislosti na typu použitého materiálu. [15]

3 Pleteniny

Pleteniny patří spolu s tkaninami mezi nejstarší odvětví textilní výroby. Pletenina je plošný textilní útvar, který vznikne provázáním jedné nebo více nití. Nít se deformuje do kliček, jejichž vzájemným provázáním vznikají očka. Na rozdíl od tkaniny může pletenina vzniknout i z jedné soustavy nití rovnoběžně položených. [16]

3.1 Rozdělení pletenin

Pleteniny se obecně dělí do skupin na zátažné a osnovní pleteniny. Každá z těchto skupin se liší jiným způsobem provázání oček, použitím rozdílných pletacích strojů a jinými charakteristikami.

Zátažné pleteniny jsou tvořeny příčným kladením soustavy nití. U zátažných pletenin probíhají nitě pleteninou ve směru řádku. Tato skupina pletenin je vyráběna ručně pomocí pletařských jehlic nebo strojově na zátažných pletacích strojích.

Osnovní pleteniny jsou naopak tvořeny podélným kladením soustavy nití. Tato soustava nití u osnovních pletenin je nazývána osnova. Osnovní nitě procházejí pleteninou podélně ve směru sloupků. Osnovní pleteniny jsou vyráběny na osnovních pletařských strojích.

Dále lze pleteniny rozdělit podle vazeb. Pojmem vazba je myšlen způsob provázání nití pleteniny. Vazba je charakteristickým znakem každé textilie a určuje vnitřní strukturu textilie. Zátažné pleteniny jsou děleny podle vazby na zátažné jednolící, oboulící, obourubní a interlokové pleteniny. Osnovní pleteniny jsou děleny na osnovní jednolící a oboulící pleteniny. [16] [26]

3.2 Vlastnosti pletenin

Pleteniny mají řadu vynikajících vlastností, díky kterým umožňují uživateli široké použití. Některými vlastnostmi se odlišují od tkanin. Mezi tyto vlastnosti patří zejména geometrické vlastnosti jako např. délka nitě v očku (l), průměr nitě (d), rozteč sloupků (w) a řádků (c), tloušťka pleteniny (t), hustota sloupků (H_s) a řádků (H_r).

Plošnou hmotnost lze zařadit do mechanických vlastností pletenin. Její význam spočívá např. ve vlivu na spotřebu materiálu a tím i na cenu hotového výrobku. Tato vlastnost je vnímána i ze strany spotřebitele.

Typickou vlastností pletenin je jejich pevnost a tažnost, která je určena tvarem oka. Spolu s pružností a měkkostí zajišťuje příjemné nošení a volnost pohybu. Měkkost pleteniny je způsobena volnou vazební strukturou a nízkým zákrutem pletařských nití. Kromě toho způsobuje i prodyšnost a nasákavost. Dalšími typickými vlastnostmi je hřejivost pleteniny. Tyto strukturální vlastnosti umožňují používat syntetická vlákna, tedy málo navlhavá, které mají dobré výsledky i pro výrobu prádla. [16] [27]

3.3 Používané materiály

Syntetické materiály mají společnou vlastnost, která je ceněna hlavně při výrobě funkčního oblečení. Tou vlastností je nižší nasákavost, to znamená, že tyto materiály téměř neabsorbují molekuly vody (nemají afinitu k vodě), jsou hydrofóbní. Tím se i podstatně liší od přírodních materiálů, které naopak patří mezi nasákové (hydrofilní) materiály.

Mezi hydrofóbní materiály patří polyester, polyamid a polypropylen, které se také na výrobu funkčních oděvů nejčastěji používají. Polypropylen má z těchto materiálů nejnižší nasákavost, ale bohužel má i nejnižší pevnost a tvarovou stálost. U polyamidů nás zaujme největší pevnost a pružnost, díky které mají výrobky největší životnost. Polyester má podobné vlastnosti jako polyamid a navíc nejlépe odolává působení UV záření. [17]

Velkou výhodou syntetických materiálů je to, že vlákna mohou být tvarována na různé průřezy (profily) a tak vznikají např. vlákna trojlaločnatá, pětialočnatá atd. Tím dochází ke zvýšení užitných hodnot výrobků z nich vyrobených, ovlivněn je vzhled a omak. Zvětšena je odpařovací plocha, kapilární vztlakovost, tepelně izolační schopnost, zkrácena je doba potřebná k usušení.

Nejvyššího transportu vlhkosti je dosaženo u tzv. 4DG vláken firmy Eastman Kodak. Jedná se o vlákna vyrobená z termoplastického polymeru speciálního tvaru příčného

řezu, který poskytuje vláknům schopnost samovolného transportu vlhkosti. Tvar příčného řezu je tvořen 8 hlubokými drážkami.

Dalším typem tvarovaných vláken jsou dutá vlákna, u kterých je větší podíl vzduchu v pletenině a lépe chrání před chladem. Při výrobě funkčních oděvů mají proto velké uplatnění. [17]

3.4 Funkční pleteniny

V současné době jsou na pleteniny kladeny stále větší a větší nároky. Zejména na ty, které jsou hojně využívány pro sportovní oděvy. Cílem těchto pletenin je plnit nějakou funkci, proto dostaly název funkční pleteniny. Kromě charakteristických vlastností se jedná především o funkci, díky které dochází k odvodu kapalné vlhkosti resp. potu od pokožky a tím k zajištění komfortu uživatele při zvýšené námaze. Pojem komfort je chápán jako stav organismu, kdy jsou fyziologické funkce organismu v optimu a zároveň okolí včetně oděvu nevytváří jakékoliv nepříjemné vjemy vnímané našimi smysly.

Na trhu existuje řada pletenin, které plní funkci odvodu potu od pokožky. Jedná se o zahraniční, ale i české výrobce a výrobky, jako Coolmax, Thermolite, Polartec, Moira a řada dalších. Výrobci těchto pletenin si materiály nazývají dle svého uvážení nebo složení materiálu. Typem použitých vláken jsou si však podobné. [17] [18] [19]

Tato diplomová práce bude zaměřena na šest textilních materiálů. První skupina tvoří textilie vyvinuté pro alergiky a revmatiky. Druhá skupinu vzorků tvoří textilie vyrobené z nehořlavých vláken. Zde je uveden popis jednotlivých testovaných vláken a jejich vlastností.

SeaCell ®- Princip výroby vlákna spočívá v aplikaci speciální mořské řasy, která dodává vláknu specifické vlastnosti. Vláknem obsahuje hořčík, vápník, nejdůležitější minerální a aminokyseliny. Struktura vlákna umožňuje aktivní výměnu látek mezi vláknem a pokožkou. Vláknem je vyráběno ve dvou variantách s rozdílným účinkem. Varianta pure je založena na čistém účinku mořských řas. Varianta senzitive obsahuje stopové částice zinku, které dlouhodobě chrání pokožku proti infekci a zánětům při poranění. [20]

Viskózové vlákno FR (obchodní název Lenzig FR ®) - Toto vlákno se sníženou hořlavostí je vyrobeno na bázi regenerované celulózy. Jeho nehořlavé vlastnosti jsou permanentní a nemění se ani po opakovaném praní. Vláknem chrání pokožku před všemi druhy tepla a výrobkům dodává fyziologický komfort snižující riziko stresu z horka a tepelného šoku.

Modakrylové vlákno FR (obchodní název Protex M ®) - Toto vlákno se vyznačuje samozhášející schopností. Karbonizací materiálu je vytvářena bariéra zabráňující dalšímu šíření ohně. U tohoto typu vláken se neprojevuje fotodegradace. Vlastnosti vláken jsou permanentní a nejsou změněny ani po opakovaném praní. Vláknem rychle schnou a jsou jemná na omak. [20]

Polyoxadiazolové vlákno- (obchodní název Arselon ®) - Toto vlákno patří mezi aramidová vlákna. Nehořlavé vlastnosti jsou permanentní a nemění se po opakovaném praní. Vláknem vykazuje vysokou tepelnou stabilitu, díky které je schopno krátkodobě odolávat působení teplot 300 až 400 stupňů Celsia. Vláknem je podobně barvitelné jako polyester.

Polyamid- imid (obchodní název Kermel)- Toto vlákno je klasifikováno jako meta-aramidové vlákno. Vláknem je permanentně nehořlavé. Oděvy vyrobené z těchto vláken nabízejí maximální ochranu proti velmi vysokým teplotám až do 1000 stupňů Celsia. Vláknem je výborný izolátor, který poskytuje efektivní ochranu proti ohni, dokonce i v provedení lehkých textilií. Textilie vyrobené z Kermelu jsou stabilní v ohni. Zajišťuje celistvost oděvů po relativně dlouhou dobu, což poskytuje nositeli dostatečný čas pro únik z nebezpečného prostředí. [20]

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část je rozdělena do několika částí. První část je zaměřena na zjištění šíření kapalně vlhkosti pomocí termografické techniky. Jedná se o experimentální simulaci schopnosti materiálu absorbovat vlhkost, resp. transportu kapalného potu z lidské pokožky a jeho šíření z rubní na lícni stranu textilie. Druhá část je soustředěna na provedení experimentu stanovení emisivity textilních materiálů. Třetí část je zaměřena na měření šíření kapalně vlhkosti na přístroji Moisture management tester. V závěru budou výsledky těchto experimentů diskutovány a vzájemně porovnány. Všechna měření byla provedena v laboratořích Technické univerzity v Liberci.

4 Charakteristika měřených materiálů

Pro účely této diplomové práce bylo využito šest druhů pletenin o různém materiálovém složení a rozdílné struktuře pleteniny viz kapitola 3.4. Pro lepší přehlednost byly pleteniny rozděleny do dvou skupin po třech pleteninách. Všechny uvedené materiály jsou určeny pro výrobu funkčních oděvů resp. pro první vrstvu oděvu.

První skupina materiálů je uvedena v tab. 1. Tato skupina zahrnuje materiály stejného materiálového složení, ale rozdílné struktury pleteniny.

Tab. 1 První skupina materiálů

1. skupina materiálů		
Označení výrobcem	Materiálové složení	Struktura pleteniny
Alfa_19_1	50% bavlna / 30% smartcel senzitive / 20% SeaCell pure	Zátažná interloková,
Alfa_19_2	50% bavlna / 30% smartcel senzitive / 20% SeaCell pure	Zátažná jednolící,
Alfa_19_3	50% bavlna / 30% smartcel senzitive / 20% SeaCell pure	Zátažná jednolící, piké

Druhá skupina je uvedena v tab. 2 obsahuje nehořlavé materiály. Materiály se vyznačují různým materiálovým složením a rozdílnou strukturou pleteniny. V tabulce jsou uvedeny názvy textilií uvedené výrobcem a nové označení pro větší přehlednost.

Tab. 2 Druhá skupina materiálů

2. skupina materiálů			
Označení výrobce	Nové značení	Materiálové složení	Struktura pleteniny
1	Beta_1	lící strana- 80% viskóza/ 20% bavlna	plyš vnější
		rubní strana- 50% polyoxadiazol / 50% viskóza FR	
2	Beta_2	60% modakryl FR/ 40% viskóza	Zátažná oboulící, hladká
3a	Beta_3	50% kermel/ 50% viskóza FR	Zátažná interloková, hladká

4.1 Experiment s použitím termovizní techniky

Cílem experimentu bylo navrhnout experiment pro zjištění šíření kapalně vlhkosti u textilií a následně navržený experiment provést.

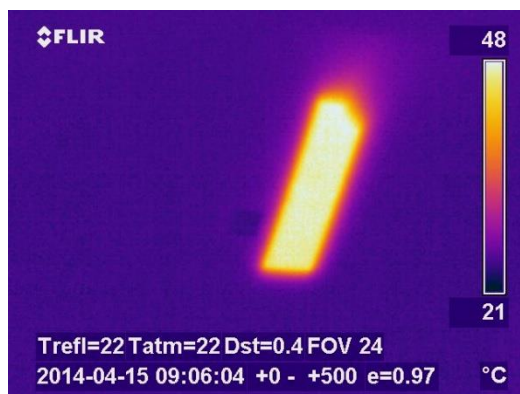
4.1.1 Příprava experimentu

Pro provedení experimentu bylo potřeba dvou termovizních kamer značky FLIR typu X6540sc a S60, stojánku pro umístění rámečku, pipety, syntetického potu, obou skupin textilií.

Od každé textilie z obou skupin textilií byly zhotoveny 3 vzorky. Ty byly upnuty do rámečku vyrobeného z kartonu. Takto připravené vzorky byly před samotným měřením klimatizovány po dobu nejméně 24 hodin při standardních klimatických podmínkách.

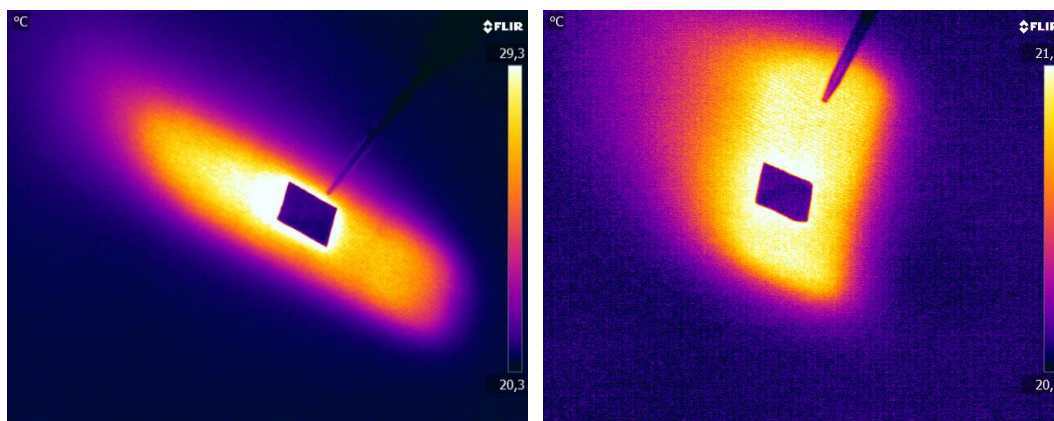
4.1.2 Kalibrace obrazu

Před vlastním měřením je vždy nutné provést kalibraci obrazu, aby bylo možné snímky dále zpracovat v obrazové analýze. Nejprve byl ke kalibraci použit alobal (kalibrační čtverec) o rozměrech 1x1 cm přilepený na oboustranné lepicí pásce. Problémem bylo zobrazení kalibračního čtverce na kamerách.



Obr. 5 Termovizní snímek kalibrace

Proto byl jako pomůcka použit kovový plíšek o rozměrech 1,6 x 5,4 cm. Plíšek bylo nutné zahřát na ploténce, aby došlo k vyššímu tepelnému rozhraní a plíšek byl viditelný na kamerách. Zahřátý plíšek byl přiložen na rámeček s textilií na kalibrační čtverec, provedeno zaostření na obou termovizních kamerách a zajištěny snímky pro kalibraci obrazu.



Obr. 6 Kalibrace kamer pomocí alobalu a plíšku- snímky z obou kamer

4.1.3 Postup měření

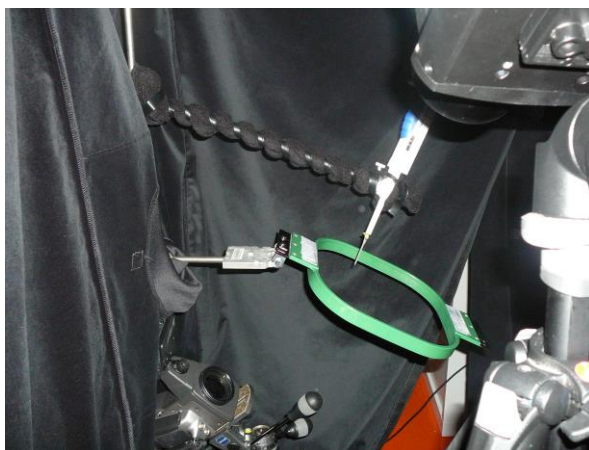
Experiment se odehrával v měřicí kabině, která byla zhotovena z kovové konstrukce. Celá kabina byla potažena černou textilií, která ji zcela zakrývala. Kabina byla zvolena z důvodu měření v zatemněné komoře. Dále byl vyroben stojánek pro umístění pipety a rámečku. Stojánek byl připevněn ke kovové konstrukci měřící komory.



Obr. 7 Konstrukce komory (vlevo), sestava (vpravo)

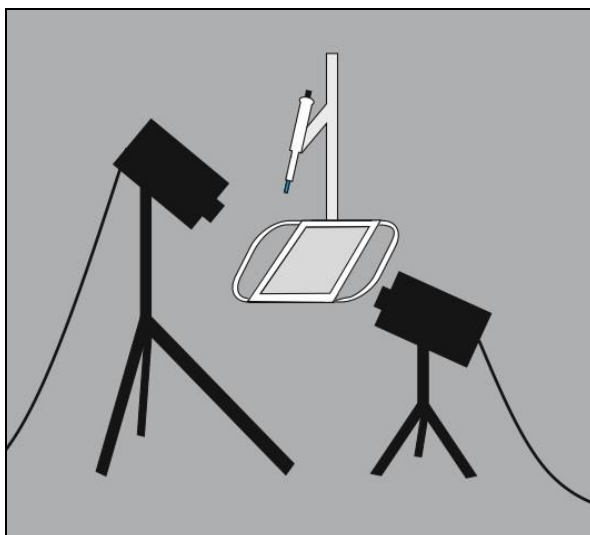
Rámeček s upnutou textilií byl připevněn na rámeček umístěný na stojánku rubní stranou nahoru. Nad rámeček byla na stativu umístěna kamera typu X6540sc, která snímala rubní stranu textilie. Pod měřenou textilií byla umístěna kamera typu S60 a snímala tak lící stranu textilie.

Na stojánku nad měřenou textilií byla umístěna pipeta značky Fisher Scientific určená pro dávkování kapaliny. Díky automatickému dávkování lze nastavit obsah kapaliny. Pro účely tohoto experimentu byla zvolena velikost kapky 20 μl . Kapalinou byl zvolen syntetický pot- alkalický. Alkalický pot je používán pro testování stálobarevnosti podle normy ČSN 80 0164 mající název Metoda zkoušení stálobarevnosti v potu z roku 1986. Složení syntetického potu viz Příloha 1. [21]



Obr. 8 Umístění stojánu a kamer

U každého textilního vzorku bylo provedeno šest měření. Záznamy byly ukládány ve formě sekvencí (sequence) a obrazů. Takto uložené záznamy byly v programu FLIR R&D exportovány do formátu avi a jpeg. Po měření byl vypracován postup provedení experimentu viz Příloha 2.



Obr. 9 Náskres sestavy

4.1.4 Zpracování snímků

Pořízené termogramy byly zpracovány v obrazové analýze, v programu NIS- Elements AR 4.00.08. V obrazové analýze byla měřena plocha kapky (syntetický pot) v mm². Sledována byla plocha kapky po uplynutí 1, 2 a 3 minut. Podrobný postup zpracování snímků viz Příloha 3.

Software NIS- Elements AR 4.00.08 spočítal kromě plochy kapky i jiné veličiny související s plochou. Těmito veličinami jsou kruhovitost, protažení, ekvivalentní průměr, max průmět, min průmět a orientace. Tyto veličiny jsou popsány takto:

Kruhovitost je odvozená míra počítaná z plochy a obvodu. U kruhu je kruhovitost rovna 1. Všechny ostatní tvary jsou charakterizovány kruhovitostí menší než 1.

$$\text{Kruhovitost} = 4 \cdot \pi \cdot \text{plocha} \cdot \text{obvod}$$

Protažení se určuje jako poměr max průmětu a min průmětu.
$$\text{Protažení} = \frac{\text{max průmět}}{\text{min průmět}}$$

Ekvivalentní průměr je veličina odvozená z plochy. Ekvivalentní průměr určuje průměr kružnice, která má stejnou plochu jako odpovídající objekt.

Max průmět (MaxFeret) je maximum z Feretových průmětů. Pro konvexní objekty je Feretův průmět při úhlu α roven délce projekce objektu při úhlu α , $\alpha \in (0,180)$. Program NIS Elements počítá Feretův průmět pro α rovno 0 až 180 stupňů.

Hodnota *min průmět* (MinFeret) je minimum z Feretových průmětů. Pro konvexní objekty je Feretův průmět při úhlu α roven délce projekce objektu při úhlu α , $\alpha \in (0,180)$. Program NIS Elements počítá Feretův průmět pro α rovno 0 až 180 stupňů.

Orientace je úhel, při kterém má Feretův průmět své maximum. Průměty jsou počítány s přírůstkem úhlu o 5 stupňů. [28]

Získané hodnoty byly dále statisticky zpracovány.

4.1.5 Vyhodnocení dat

Hodnotícím prvkem byla velikost kapky v mm² po uplynutí 1, 2 a 3 minut. Naměřené hodnoty byly zapsány do tabulek viz Příloha 4. Některé hodnoty nebyly zaznamenány a jsou v tabulkách označeny písmenem x.

4.1.5.1 Tvarové charakteristiky

Tvarové charakteristiky nám dávají informaci o tvaru kapky. Zejména se jedná o kruhovitost, protažení a orientaci. Hodnoty tvarových charakteristik byly zapsány do následujících tabulek pro obě skupiny textilií pro rubní i lícni stranu. Určen byl průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient.

Tab. 3 Tvarové charakteristiky- rubní strana- 1. skupina

		Plocha	Max průmět	Min průmět	Kruhovitost	Protažení	Orientace
Alfa_19_1	průměr	79,03	15,88	7,1	0,58	2,26	151,83
	sm. odchylka	19,02	1,88	1,04	0,07	0,31	5,43
	variační koeficient	24,07	11,84	14,65	12,07	13,72	3,58
Alfa_19_2	průměr	120,58	18,79	9,18	0,64	2,08	146,33
	sm. odchylka	16	1,41	1,06	0,05	0,3	5,99
	variační koeficient	13,27	7,50	11,55	7,81	14,42	4,09
Alfa_19_3	průměr	114,68	15,19	10,3	0,77	1,48	141,6
	sm. odchylka	46,62	4,19	2,87	0,03	0,18	15,33
	variační koeficient	40,65	27,58	27,86	3,90	12,16	10,83

Tab. 4 Tvarové charakteristiky- rubní strana- 2. skupina

		Plocha	Max průmět	Min průmět	Kruhovitost	Protažení	Orientace
Beta_1	průměr	141,6	17,43	12,28	0,62	1,43	71,5
	sm. odchylka	27,59	2,27	1,49	0,09	0,21	16,29
	variační koeficient	19,48	13,02	12,13	14,52	14,69	22,78
Beta_2	průměr	110,18	16,25	10,01	0,57	1,65	83
	sm. odchylka	12,71	1,04	1,04	0,06	0,24	16,74
	variační koeficient	11,54	6,40	10,39	10,53	14,55	20,17
Beta_3	průměr	242,39	22,07	15,26	0,65	1,45	83,8
	sm. odchylka	28,19	0,91	1,28	0,05	0,08	3,6
	variační koeficient	11,63	4,12	8,39	7,69	5,52	4,30

Tab. 5 Tvarové charakteristiky- lící strana- 1. skupina

		Plocha	Max průměr	Min průměr	Kruhovitost	Protažení	Orientace
Alfa_19_1	průměr	32,76	7,95	5,67	0,75	1,41	92,83
	sm. odchylka	5,81	0,87	0,44	0,11	0,16	9,26
	variační koeficient	17,74	10,94	7,76	14,67	11,35	9,98
Alfa_19_2	průměr	47,97	9,69	6,99	0,75	1,4	90
	sm. odchylka	6,31	0,96	0,75	0,09	0,18	18,12
	variační koeficient	13,15	9,91	10,73	12,00	12,86	20,13
Alfa_19_3	průměr	32,46	6,55	5,52	0,82	1,17	48,67
	sm. odchylka	19,14	3,19	2,75	0,11	0,09	30,99
	variační koeficient	58,96	48,70	49,82	13,41	7,69	63,67

Tab. 6 Tvarové charakteristiky- lící strana- 2. skupina

		Plocha	Max průměr	Min průměr	Kruhovitost	Protažení	Orientace
Beta_1	průměr	128,06	17,72	10,52	0,53	1,68	127,17
	sm. odchylka	32,13	2,71	0,83	0,05	0,16	56,83
	variační koeficient	25,09	15,29	7,89	9,43	9,52	44,69
Beta_2	průměr	91,74	16,96	7,9	0,59	2,19	160
	sm. odchylka	11,99	0,95	0,93	0,04	0,33	7,33
	variační koeficient	13,07	5,60	11,77	6,78	15,07	4,58
Beta_3	průměr	175,75	21,29	10,78	0,67	1,98	160,33
	sm. odchylka	46,61	3,05	1,67	0,04	0,07	6,99
	variační koeficient	26,52	14,33	15,49	5,97	3,54	4,36

U obou skupin textilií byla získána veličina kruhovitost. U symetrických (kruhových) objektů je kruhovitost rovna 1. Nekruhové objekty mají kruhovitost menší než 1. U 1. skupiny textilií se kruhovitost pohybuje v rozmezí od 0,58 do 0,77 na rubní straně a na lící od 0,75 do 0,82. U 2. skupiny textilií se hodnoty kruhovitosti pohybují na rubní straně od 0,57 do 0,65 a na lící straně v rozmezí od 0,53 do 0,67. Všechny textilie tedy nedosáhly kruhového tvaru, jelikož hodnota kruhovitosti u všech textilií je menší než 1.

Další veličinou dávající informaci o tvaru kapky je protažení. U symetrických objektů je protažení rovno 0. Je-li hodnota protažení větší než 0, je kapka nesymetrická. U 1. skupiny se tato veličina pohybuje na rubní straně v rozmezí od 1,48 do 2,26 a na lící straně od 1,17 do 1,41. U 2. skupiny se protažení pohybuje v rozmezí od 1,43 do 1,65

na rubní straně a od 1,68 do 2,19 na lící straně. Z naměřených hodnot je tedy patrné, že ani jedna z testovaných textilií není, co se týče veličiny protažení symetrická.

V neposlední řadě nás zajímá veličina orientace. U 1. skupiny se na rubní straně pohybuje v rozmezí od 141,6 do 151,83, na lící straně od 48,67 do 92,83. U 2. skupiny se orientace pohybuje v rozmezí od 71,5 do 83,8 na rubní straně, od 127,17 do 160,33 na lící straně.

Vzhledem k tomu, že kamery nebyly z technických důvodů postaveny proti měřené textilii kolmo, ale pod určitým úhlem, bylo nutné přepočítat některé hodnoty, abychom se přiblížili skutečnému tvaru. Jedná se o hodnoty min průmětu a protažení viz Příloha 5. Přepočítání bylo provedeno na základě délky jednotlivých stran kalibračního čtverce ze snímku kalibrace.

Tab. 7 Hodnoty pro přepočet

1. skupina materiálů		2. skupina materiálů	
Rubní strana	Lící strana	Rubní strana	Lící strana
1,35	1,12	1,05	1,33

4.1.5.2 Maximální plocha kapky

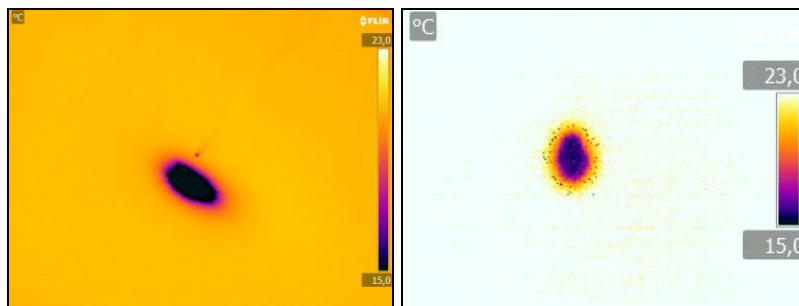
Průměrné hodnoty maximální plochy v mm^2 byly rubní a lící strany byly zapsány do tabulek samostatně pro 1. skupinu a 2. skupinu textilií. Hodnoty maximální plochy byly použity pro porovnání s metodou na přístroji MMT a pro vytvoření následujících grafů.

Tab. 8 Průměrné hodnoty maximální plochy kapky- 1. skupina

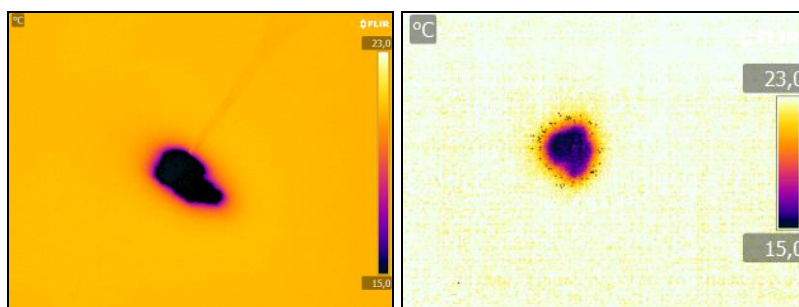
1. skupina	rubní strana			lící strana		
	Alfa_19_1	Alfa_19_2	Alfa_19_3	Alfa_19_1	Alfa_19_2	Alfa_19_3
průměr	79,03	120,58	114,68	32,76	47,97	32,46
směrodatná odchylka	19,02	16	46,62	5,81	6,31	19,14
variační koeficient	24,07	13,27	40,65	17,74	13,15	58,96
interval spolehlivosti	15,22	12,8	40,86	4,65	5,05	15,31

U 1. skupiny textilií se průměrné hodnoty maximálních ploch pohybují v rozmezí od 32,46 do 120,58 mm^2 .

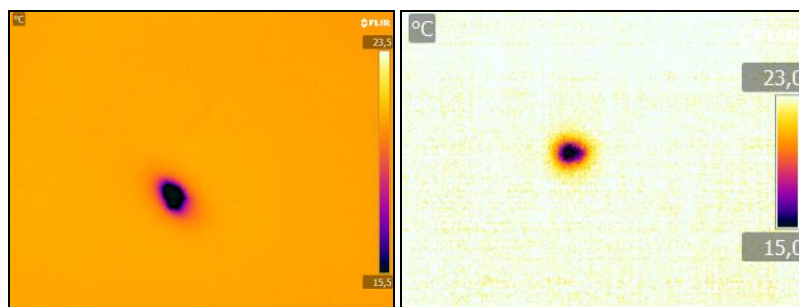
Snímky 1. skupiny textilií a jejich maximálních ploch jsou zobrazeny na následujících obrázcích. Zobrazeny jsou vždy snímky získané na rubní i lící straně.



Obr. 10 Textilie Alfa_19_1- maximální plocha kapky- rubní strana (vlevo),
lící strana (vpravo)



Obr. 11 Textilie Alfa_19_2- maximální plocha kapky- rubní strana (vlevo),
lící strana (vpravo)



Obr. 12 Textilie Alfa_19_3- maximální plocha kapky- rubní strana (vlevo),
lící strana (vpravo)

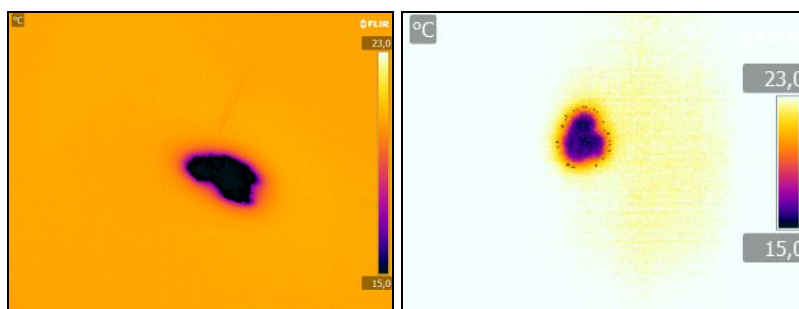
Průměrné hodnoty maximálních ploch získané u 2. skupina textilií jsou uvedeny v následující tabulce pro rubní i lící stranu.

Tab. 9 Průměrné hodnoty maximální plochy kapky- 2. skupina

1. skupina	rubní strana			lící strana		
	Beta_1	Beta_2	Beta_3	Beta_1	Beta_2	Beta_3
průměr	141,6	110,18	242,39	128,06	91,74	175,75
směrodatná odchylka	27,59	12,71	28,19	32,13	11,99	46,61
variační koeficient	19,48	11,54	11,63	25,09	13,07	26,52
interval spolehlivosti	22,08	10,17	24,71	25,7	9,59	37,3

U 2. skupiny textilií se průměrné hodnoty maximální plochy pohybují v rozmezí od 91,74 do 242,39 mm².

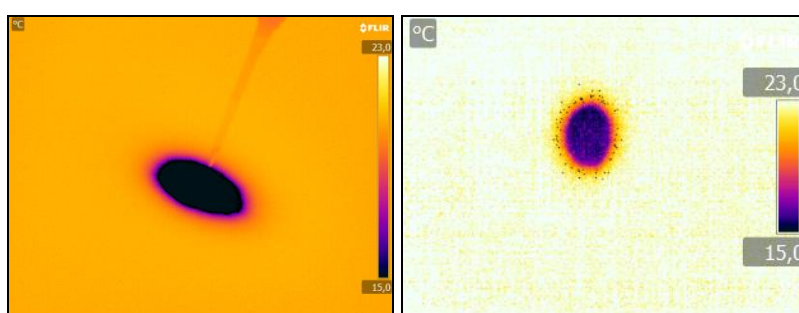
Snímky jednotlivých textilií 2. skupiny materiálů s jejich maximálními plochami jsou zobrazeny na následujících obrázcích rubní i lící strany.



Obr. 13 Textilie Beta_1- maximální plocha kapky- rubní strana (vlevo), lící strana (vpravo)



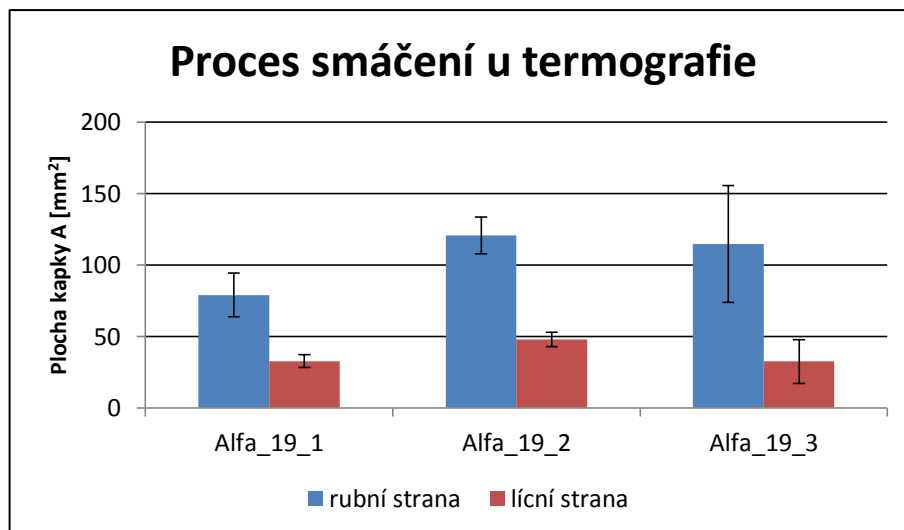
Obr. 14 Textilie Beta_2- maximální plocha kapky- rubní strana (vlevo),
lící strana (vpravo)



Obr. 15 Textilie Beta_3- maximální plocha kapky- rubní strana (vlevo),
lící strana (vpravo)

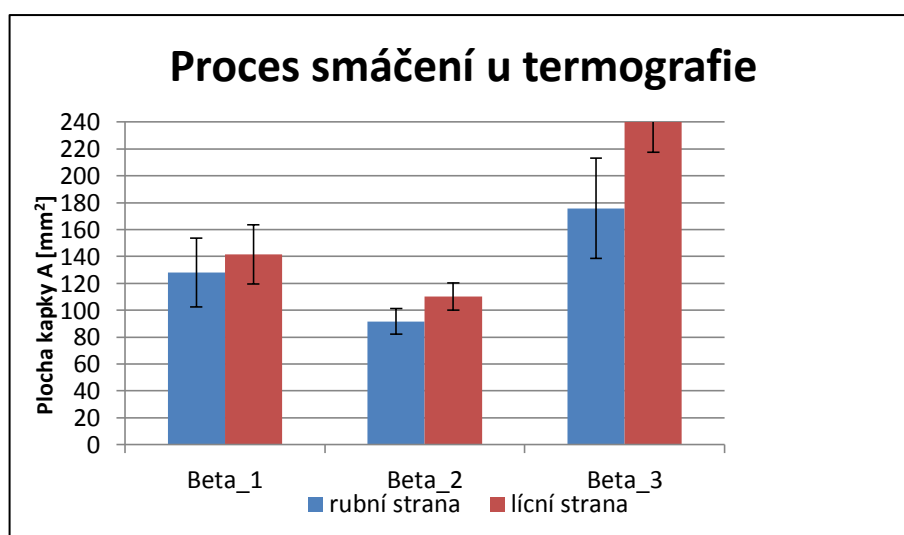
Při použití oděvů vyrobených z funkčních materiálů je vlhkost od pokožky postupně odváděna. Aby systém fungoval, musí být odvod potu od pokožky zabezpečen všemi vrstvami oblečení. Nejrychlejší odvod vlhkosti musí zajistit materiál spodního prádla, tedy první vrstva oděvu. Důležité je, aby spodní prádlo dobře přiléhalo k tělu a pot měl, co největší plochu k transportu vlhkosti do dalších oděvních vrstev. Při vyhodnocení nás tedy zajímá maximální plocha kapky resp. potu a další charakteristiky.

Průměrné hodnoty maximální plochy kapky v mm^2 obou skupin materiálů byly zaneseny do grafu. Modrou barvou jsou zobrazeny průměrné hodnoty rubní strany textilie. Červenou barvou jsou zobrazeny průměrné hodnoty lící strany textilie. V grafech jsou dále zobrazeny chybové úsečky, kde byly zadány hodnoty intervalu spolehlivosti.



Graf 1 Proces smáčení u termografie- 1. skupina

Do grafu byly zaneseny průměrné hodnoty maximálních ploch 1. skupiny textilií pro rubní i lícni stranu. Z grafu je patrné, že největší plochy dosáhla na rubní straně textilie Alfa_19_2. Naopak nejmenší plochy na rubní straně dosáhla textilie Alfa_19_1. Na lícni straně dosáhla největší plochy textilie Alfa_19_2 a nejmenší textilie Alfa_19_3.



Graf 2 Proces smáčení u termografie- 2. skupina

Druhý graf zobrazuje plochy kapky v mm^2 u 2. skupiny materiálů. Z grafu je patrné, že nejmenší plochy na rubní straně textilie dosáhla textilie Beta_2. Největší plochu na rubní straně textilie má textilie Beta_3. Na lícni straně textilie má nejmenší průměrnou

hodnotu plochy textilie Beta_2. Největší hodnotu na lící straně textilie má textilie Beta_3.

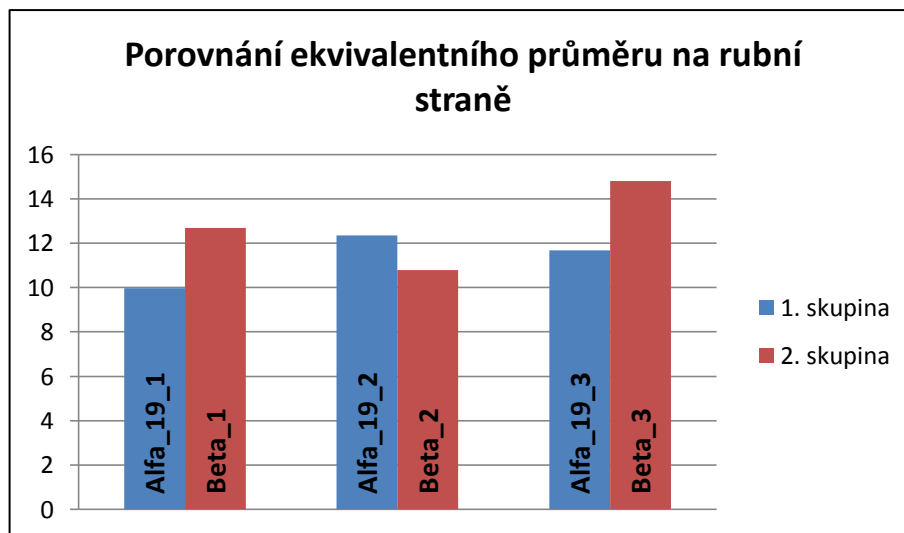
4.1.5.3 Ekvivalentní průměr

Tato část se zaměřuje na veličinu s názvem ekvivalentní průměr získanou při vyhodnocování softwarem NIS Elements. Ekvivalentní průměr je definován jako průměr kruhu, který má stejnou plochu jako příčný řez vlákna. Hodnoty ekvivalentního průměru jsou použity pro pozdější porovnání ploch kapky s metodou MMT. Naměřené hodnoty viz Příloha 6. V tabulkách jsou uvedeny průměrné hodnoty ekvivalentního průměru pro lící a rubní stranu textilie pro obě skupiny textilií.

Tab. 10 Průměrné hodnoty ekvivalentního průměru- rubní strana

	1. skupina			2. skupina		
	Alfa_19_1	Alfa_19_2	Alfa_19_3	Beta_1	Beta_2	Beta_3
průměr	9,96	12,36	11,68	13,36	11,82	17,54
směrodatná odchylka	1,19	0,83	3,09	1,35	0,68	1,06
variační koeficient	11,95	6,72	26,46	10,10	5,75	6,04
interval spolehlivosti	0,95	0,66	2,47	1,08	0,54	0,85

Průměrné hodnoty ekvivalentního průměru na rubní straně u 1. skupiny se pohybují v rozmezí od 9,96 do 12,36 mm. U 2. skupiny se hodnoty pohybují v rozmezí od 11,82 do 17,54 mm.



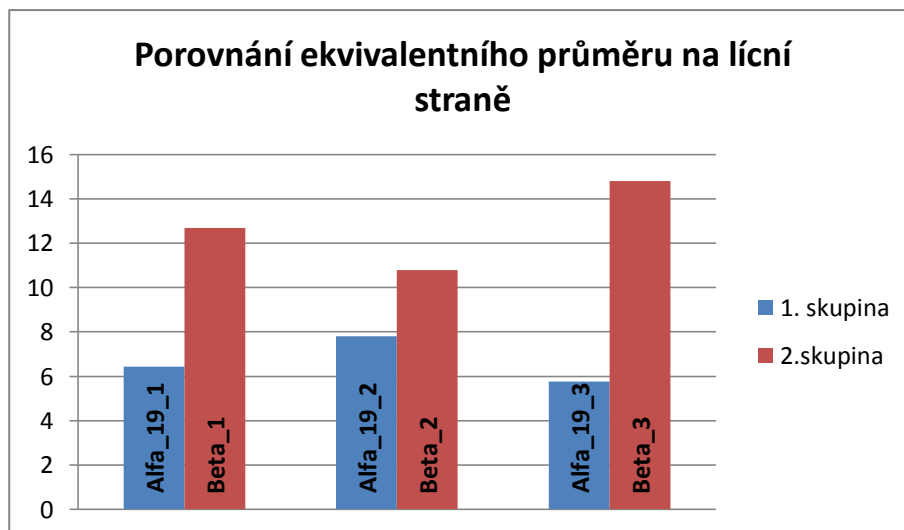
Graf 3 Porovnání ekvivalentního průměru na rubní straně

V grafu je porovnán ekvivalentní průměr obou skupin textilií na rubní straně. Je patrné, že nejvyšší hodnoty ekvivalentního průměru dosáhla u 1. skupiny textilie Alfa_19_2 a u 2. skupiny textilie Beta_3. Nejmenší hodnotu ekvivalentního průměru má na rubní straně u 1. skupiny textilie Alfa_19_1 a u 2. skupiny textilie Beta_2.

V následující tabulce jsou uvedeny průměrné hodnoty ekvivalentního průměru, směrodatná odchylka a variační koeficient. U 1. skupiny textilií se hodnoty pohybují v rozmezí od 5,77 do 7,8 mm. U 2. skupiny se hodnoty pohybují v rozmezí od 10,79 do 14,8 mm.

Tab. 11 Průměrné hodnoty ekvivalentního průměru- lící strana

	1. skupina			2. skupina		
	Alfa_19_1	Alfa_19_2	Alfa_19_3	Beta_1	Beta_2	Beta_3
průměr	6,44	7,8	5,77	12,68	10,79	14,8
směrodatná odchylka	0,56	0,55	2,83	1,54	0,72	2,21
variační koeficient	8,70	7,05	49,05	12,15	6,67	14,93
interval spolehlivosti	0,45	0,44	2,26	1,23	0,58	1,77



Graf 4 Porovnání ekvivalentního průměru na lící straně

V grafu jsou porovnány hodnoty ekvivalentního průměru u obou skupin textilií na lící straně. Je patrné, že nejvyšší hodnoty u 1. skupiny dosáhla textilie Alfa_19_2. Nejmenší hodnoty dosáhla textilie Alfa_19_3. U 2. skupiny má největší hodnotu textilie Beta_3 a nejmenší textilie Beta_2.

4.1.6 Dílčí závěr

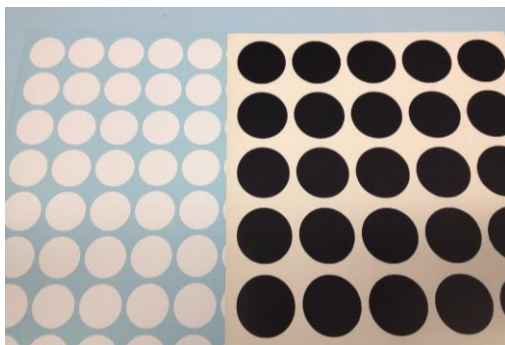
Průběh měření udávají hodnoty plochy (mm^2). V závislosti na typu materiálu, jeho struktuře a složení reaguje každý materiál různou rychlostí šíření kapaliny a velikostí plochy. U 1. skupiny materiálů, která se vyznačuje stejným materiálovým složením, ale rozdílnou strukturou byla textilie Alfa_19_2, zátažná jednolícni pletenina (50% bavlna/30% smartcel senzitive/ 20% SeaCell pure) ze všech 3 materiálů vyhodnocena jako nejvíce absorbující textilie a tedy nejvhodnější pro první vrstvu oděvu. Nejméně absorbující textilie byla zátažná interloková pletenina Alfa_19_1 (50% bavlna/30% smartcel senzitive/ 20% SeaCell pure). U 2. skupiny materiálů byla ze všech 3 textilií zvolena nejvíce absorbující zátažná interloková pletenina Beta_3 (50% kermel/ 50% VI FR) a tedy nejvhodnější pro vrstvu oděvu. Nejméně absorbující byla zátažná oboulícní pletenina Beta_2 (60% modakryl FR/ 40% CO). U 1. skupiny a 2. skupiny textilií bylo větší nasáknutí na rubní straně textilie.

Z hlediska tvarových charakteristik kruhovitosti, protažení a orientace byla získána informace i o tvaru samotné kapky. Kapka u žádné z textilií neměla symetrický tvar, vždy se rozprostřela do plochy textilie.

4.2 Experiment stanovení emisivity

Jako doplňkové měření byl proveden experiment stanovení emisivity. Existuje řada způsobů, jak stanovit emisivitu materiálu. Tyto způsoby byly uvedeny v rešeršní části.

V rámci této diplomové práce byla použita metoda stanovení emisivity na základě známé teploty za pomoci Thermaspotu. Jedná se o speciální samolepící štítek pro úpravu povrchu před bezkontaktním měřením teploty termovizní kamerou nebo bezkontaktním teploměrem. Emisivita štítku je rovna hodnotě $\varepsilon = 0,96$. Výhodou Thermaspotu je vysoká přilnavost na různé materiály, usnadnění termovizního měření na objektech s neznámou emisivitou, snadná aplikace na měřený objekt i snadné odstranění z měřeného objektu aj. [23]



Obr. 16 Thermaspot

4.2.1 Příprava experimentu

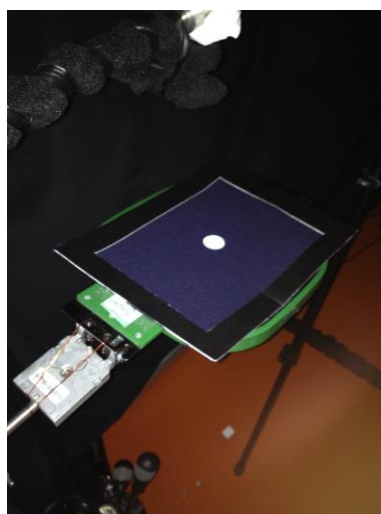
Experiment byl proveden v laboratoři TUL. Testovány byly vzorky obou skupin vybraných materiálů. Sestava i podmínky experimentu byly stejné jako u experimentu s použitím termovizní techniky.

4.2.1.1 Kalibrace obrazu

Před započítím měření bylo nutné zkalibrovat obraz. Kalibrace byla provedena stejně jako u předchozího experimentu pomocí termovizní techniky s použitím kovového plíšku.

4.2.2 Postup měření

Vlastní měření započalo umístěním vzorků v rámečcích na stojánek a umístění Thermaspotu na měřenou textilií. U každého vzorku byl pořízen jeden termogram na obou typech kamer. Poté byl vzorek sundán ze stojánku a umístěn další vzorek.



Obr. 17 Rámeček s textilií umístěný na stojánku

4.2.3 Zpracování termogramů

Pořízené termogramy byly zpracovány v programu FLIR R&D. V programu byl otevřen daný termogram. Nejprve byl umístěn bod měření do místa, kde byl umístěn Thermaspot. Pravým tlačítkem se kliklo na bod měření a rozklikly *Parametry*. V parametrech bylo zaškrtnuto políčko *Použít stávající parametry*. Následně byla zadána známá teplota a levým tlačítkem se kliklo na *Vypočítat*. Poté byly umístěny další body do plochy textilie mimo umístění Thermaspotu. Znovu se rozklikly *Parametry*

a zaškrtnulo políčko *Použít stávající parametry*. Nakonec byla zadána známá teplota a vypočítána emisivita.

Na každém termogramu bylo umístěno 5 bodů a změřena emisivita. Tyto hodnoty byly zapsány do tabulek.

4.2.3.1 Rubní strana textilie

Rubní strana textilie byla měřena kamerou typu X6540sc. Hodnoty emisivity naměřené na rubní straně v programu FLIR R&D jsou uvedeny v následující tabulce pro 1. skupinu i 2. skupinu materiálů.

Tab. 12 Hodnoty emisivity- rubní strana

rubní strana textilie					
1. skupina			2. skupina		
Alfa_19_1	Alfa_19_2	Alfa_19_3	Beta_1	Beta_2	Beta_3
0,941	0,953	0,96	0,947	0,96	0,941
0,941	0,953	0,956	0,93	0,954	0,943
0,927	0,929	0,956	0,947	0,96	0,943
0,941	0,936	0,94	0,947	0,96	0,947
0,927	0,936	0,942	0,93	0,947	0,941

4.2.3.2 Lící strana textilie

Hodnoty naměřené na lící straně kamerou typu S60 jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 13 Hodnoty emisivity- lící strana

lící strana textilie					
1. skupina			2. skupina		
Alfa_19_1	Alfa_19_2	Alfa_19_3	Beta_1	Beta_2	Beta_3
0,944	0,96	0,945	0,92	0,91	0,972
0,92	0,953	0,928	0,948	0,941	0,92
0,944	0,945	0,934	0,948	0,941	0,92
0,944	0,945	0,945	0,929	0,929	0,941
0,92	0,942	0,934	0,929	0,948	0,972

4.2.4 Vyhodnocení dat

U dat získaných v programu FLIR R&D byla určena průměrná hodnota z těchto měření, směrodatná odchylka, variační koeficient, minimální a maximální hodnota. Tyto hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tab. 14 Statistické vyhodnocení emisivity- rubní strana

rubní strana textilie						
	1. skupina			2. skupina		
	Alfa_19_1	Alfa_19_2	Alfa_19_3	Beta_1	Beta_2	Beta_3
průměr	0,935	0,941	0,951	0,94	0,956	0,943
směrodatná odchylka	0,007	0,007	0,008	0,008	0,005	0,002
variační koeficient	0,75	0,70	0,84	0,85	0,52	0,21
min	0,927	0,929	0,94	0,93	0,947	0,941
max	0,941	0,953	0,96	0,947	0,96	0,947

V tabulce jsou statisticky vyhodnoceny hodnoty emisivit naměřené na rubní straně textilie. Průměrné hodnoty emisivity u 1. skupiny materiálů pohybují v rozmezí od 0,935 do 0,951. Průměrné hodnoty emisivity na rubní straně u 2. skupiny materiálů se pohybují v rozmezí od 0,940 do 0,956.

Tab. 15 Statistické vyhodnocení- lící strana

lící strana textilie						
	1. skupina			2. skupina		
	Alfa_19_1	Alfa_19_2	Alfa_19_3	Beta_1	Beta_2	Beta_3
průměr	0,934	0,949	0,937	0,935	0,934	0,945
směrodatná odchylka	0,012	0,007	0,007	0,011	0,013	0,023
variační koeficient	1,28	0,74	0,75	1,18	1,39	2,43
min	0,92	0,942	0,928	0,92	0,91	0,92
max	0,944	0,96	0,945	0,948	0,948	0,972

V tabulce č. jsou statisticky vyhodnoceny hodnoty emisivity na lící straně textilie u obou skupin materiálů. Průměrné hodnoty emisivity u 1. skupiny materiálů se pohybují v rozmezí od 0,934 do 0,949. Průměrné hodnoty emisivity u 2. skupiny materiálů se pohybují v rozmezí od 0,934 do 0,945.

4.2.5 Dílčí závěr

Experiment stanovení emisivity textilních materiálů byl proveden u obou skupin textilií. U každého vzorku byla změřena emisivita náhodně v ploše textilie celkem 5krát. Hodnoty byly statisticky zpracovány.

Nejblíže k hodnotě emisivity Thermaspotu ($\varepsilon = 0,96$) na rubní straně u 1. skupiny materiálů má textilie Alfa_19_3. Naopak nejdále má textilie Alfa_19_1. Nejblíže k hodnotě emisivity Thermaspotu na rubní straně u 2. skupiny materiálů má textilie Beta_2. Nejdále k hodnotě Thermaspotu má textilie Beta_1.

Nejblíže k emisivity Thermaspotu na lící straně u 1. skupiny materiálů má textilie Alfa_19_2. Naopak nejdále má textilie Alfa_19_1. U 2. skupiny materiálů má na lící straně nejblíže k hodnotě emisivity Thermaspotu textilie Beta_3. Naopak nejméně se blíží textilie Beta_2.

Byly použity kamery s rozdílnými vlnovými délkami, což mohlo mít také vliv na rozdílné hodnoty emisivity.

4.3 Experiment na zařízení Moisture management tester

V této podkapitole bude popsáno provedení standardizovaného měření šíření kapalné vlhkosti na zařízení Moisture management tester (dále MMT). Měření probíhalo v laboratoři Technické univerzity v Liberci.

4.3.1 Popis zařízení MMT

Přístroj MMT je používán ke zkoušení vlastností managementu vlhkosti u textilií (u tkanin a pletenin). Schopnost managementu vlhkosti je odborný název pro schopnost tkaniny přenášet vlhkost ve více dimenzích. Přístroj měří dynamické šíření vlhkosti v textilních materiálech a je hodnocena:

- **Savost-** tj. doba, při které dojde k pohlcování vlhkosti tkaninou z rubní a lící strany
- **Schopnost jednosměrného přenosu vlhkosti-** je uvedena jako přenos vlhkosti z rubní strany na lící
- **Rychlost šíření/ vysychání-** rychlost šíření vlhkosti (na rubní a lící straně) [24]



Obr. 18 Přístroj Moisture management tester [24]

Přístroj MMT se skládá z horní a dolních čidel vlhkosti, mezi které je vkládána testovaná textilie. Na horní stranu textilie je aplikováno předem stanovené množství zkušebního roztoku (syntetický pot). Následně je pozorováno šíření roztoku materiálem a to ve třech směrech:

- Šíření roztoku směrem k vnějším okrajům na horní straně textilie
- Přenos roztoku tkaninou z horní strany na spodní
- Šíření roztoku směrem k vnějším okrajům na spodní straně textilie

Přístroj MMT sleduje, měří a zaznamenává šíření kapaliny u testovaných textilií. Z naměřených hodnot je následně vypočítána charakteristická schopnost managementu vlhkosti testované textilie.

Přístroj MMT dokáže rozlišit několik typů textilií. Podle několika faktorů jsou textilie rozděleny do sedmi hlavních skupin viz Příloha 7. [24]

4.3.1.1 Terminologie

V této části jsou uvedeny ukazatele, které byly získány z přístroje MMT. Těmito ukazateli jsou:

Doba navlhčení horní a dolní strany je udávána jako časový interval mezi počátkem vlhčení tkaniny, tedy mezi počátkem testu a momentem, kdy vodní sloupec celkového objemu kapaliny na horní i spodní straně tkaniny přesáhne hodnotu $\tan(15^\circ)$.



Obr. 19 Doba navlhčení

Savost horní a spodní strany textilie je chápána jako průměrná schopnost textilie absorbovat vlhkost z horní i spodní strany za časový úsek, kdy je čerpadlo v provozu. Dále je určována průměrná savost [%] definována jako průměrný vodní sloupec za dobu provozu čerpadla. [24]

Maximální rádius navlhčení (horní a spodní) jsou definovány jako maximální rádius navlhčeného kruhu na horní i spodní straně textilie, přičemž jsou vodní sloupce celkového objemu vody (horní i spodní) jsou vyšší než hodnota $\tan(15^\circ)$ na horní i spodní straně textilie.

Rychlost šíření roztoku textilií [mm] je chápána jako kumulativní rychlost šíření roztoku textilií od středu po největší rádius navlhčení.

Index kumulativního jednosměrného přenosu kapaliny textilií je definován jako rozdíl kumulativního obsahu vlhkosti mezi dvěma stranami textilie. [24]

Celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie slouží pro vyjádření celkové schopnosti textilie rozvádět absorbovanou vlhkost zahrnující tři parametry, kterými jsou savost spodní stranou textilie, schopnost jednosměrného přenosu vlhkosti a rychlost schnutí spodní strany textilie představující kumulativní rychlost šíření. [24]

4.3.2 Příprava experimentu

Pro měření na přístroji MMT byly připraveny vzorky textilií obou skupin materiálů o rozměrech 9 x 9 cm. Od každé textilie byly zhotoveny 3 vzorky. Před samotným měřením byly vzorky klimatizovány při standardních klimatických podmínkách.

4.3.3 Postup měření

Experiment na přístroji MMT byl proveden ve dvou dnech. První den byla měřena 1. skupina materiálů při klimatických podmínkách 22°C a relativní vlhkosti 70%. Druhý den byla měřena 2. skupina materiálů při klimatických podmínkách 21°C a relativní vlhkosti 36%. Podrobný postup měření viz Příloha 8.

4.3.4 Vyhodnocení

Hodnoty získané z přístroje MMT viz Příloha 9. V následujících tabulkách jsou tyto hodnoty statisticky vyhodnoceny a provedeno hodnocení textilie u každého ukazatele. Hodnocení textilií bylo provedeno podle tabulky viz Příloha 10.

Tab. 16 Statistické vyhodnocení- textilie Alfa_19_1

		Průměr	Směrodatná odchylka	Variační koeficient	Interval spolehlivosti	Hodnocení textilie
Doba navlhčení [s]	horní strana	2,64	0,75	28,41	0,85	Velmi rychlé
	spodní strana	2,45	0,43	17,55	0,49	Velmi rychlé
Savost [%/s]	horní strana	25,25	2,1	8,32	2,38	Pomalá
	spodní strana	22,48	1,62	7,21	1,83	Pomalá
Maximální rádius navlhčení [mm]	horní strana	18,33	2,36	12,88	2,67	Rychlé
	spodní strana	10	0	0	0	Malé
Rychlost šíření roztoku textilií [mm/s]	horní strana	3,63	0,65	17,91	0,74	Rychlá
	spodní strana	2,67	0,55	20,6	0,62	Střední
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny		-93,85	22,2	-23,65	25,12	Velmi slabá
Celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie (OMMC)		0,17	0,04	23,53	0,05	Velmi slabá

Tab. 17 Statistické vyhodnocení- textilie Alfa_19_2

		Průměr	Směrodatná odchylka	Variační koeficient	Interval spolehlivosti	Hodnocení textilie
Doba navlhčení [s]	horní strana	4,43	0,58	13,09	0,66	Rychlé
	spodní strana	4,27	0,51	11,94	0,58	Rychlé
Savost [%/s]	horní strana	27,84	6,63	23,81	7,50	Pomalá
	spodní strana	29,81	5,5	18,45	6,22	Pomalá
Maximální rádius navlhčení [mm]	horní strana	15	0	0	0	Střední
	spodní strana	10	0	0	0	Malé
Rychlost šíření roztoku textilií [mm/s]	horní strana	2,44	0,24	9,84	0,27	Střední
	spodní strana	1,96	0,16	8,16	0,18	Pomalá
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny		-50,57	66,23	-130,97	74,94	Velmi slabá
Celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie (OMMC)		0,17	0,03	17,65	0,03	Velmi slabá

Tab. 18 Statistické vyhodnocení - textilie Alfa_19_3

		Průměr	Směrodatná odchylka	Variační koeficient	Interval spolehlivosti	Hodnocení textilie
Doba navlhčení [s]	horní strana	4,46	0,36	8,07	0,41	Rychlé
	spodní strana	4,49	0,4	8,91	0,45	Rychlé
Savost [%/s]	horní strana	25,29	3,41	13,48	3,86	Pomalá
	spodní strana	29,45	2,58	8,76	2,92	Pomalá
Maximální rádius navlhčení [mm]	horní strana	13,33	2,36	17,7	2,67	Střední
	spodní strana	10	0	0	0,00	Malé
Rychlost šíření roztoku textilií [mm/s]	horní strana	2,13	0,44	20,66	0,50	Střední
	spodní strana	1,77	0,21	11,86	0,24	Pomalá
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny		-43,42	61,41	-141,43	69,49	Slabá
Celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie (OMMC)		0,15	0,04	26,67	0,05	Velmi slabá

Tab. 19 Statistické vyhodnocení - textilie Beta_1

		Průměr	Směrodatná odchylka	Variační koeficient	Interval spolehlivosti	Hodnocení textilie
Doba navlhčení [s]	horní strana	23,94	2,13	8,9	2,41	Pomalé
	spodní strana	4,09	0,91	22,25	1,03	Rychlé
Savost [%/s]	horní strana	19,76	3,14	15,89	3,55	Pomalá
	spodní strana	36,92	3,54	9,59	4,01	Střední
Maximální rádius navlhčení [mm]	horní strana	10	0	0	0,00	Malé
	spodní strana	10	0	0	0,00	Malé
Rychlost šíření roztoku textilií [mm/s]	horní strana	0,43	0,04	9,3	0,05	Velmi pomalá
	spodní strana	1,37	0,31	22,63	0,35	Pomalá
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny		150,31	47,24	31,43	53,46	Dobrá
Celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie (OMMC)		0,33	0,05	15,15	0,06	Slabá

Tab. 20 Statistické vyhodnocení- textilie Beta_2

		Průměr	Směrodatná odchylka	Variační koeficient	Interval spolehlivosti	Hodnocení textilie
Doba navlhčení [s]	horní strana	44,53	53,38	119,87	60,40	Pomalé
	spodní strana	10,49	1,83	17,45	2,07	Střední
Savost [%/s]	horní strana	5,82	4,11	70,62	4,65	Velmi pomalá
	spodní strana	58,84	2,11	3,59	2,39	Rychlá
Maximální rádius navlhčení [mm]	horní strana	10	7,07	70,7	8,00	Malé
	spodní strana	8,33	2,36	28,33	2,67	Malé
Rychlost šíření roztoku textilií [mm/s]	horní strana	0,62	0,45	72,58	0,51	Velmi pomalá
	spodní strana	0,56	0,1	17,86	0,11	Velmi pomalá
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny		280,41	128,59	45,86	0,00	Velmi dobrá
Celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie (OMMC)		0,49	0,14	28,57	0,00	Velmi slabá

Tab. 21 Statistické vyhodnocení - textilie Beta_3

		Průměr	Směrodatná odchylka	Variační koeficient	Interval spolehlivosti	Hodnocení textilie
Doba navlhčení [s]	horní strana	3,49	0,52	14,9	0,59	Rychlé
	spodní strana	3,68	0,5	13,59	0,57	Rychlé
Savost [%/s]	horní strana	21,27	1,54	7,24	1,74	Pomalá
	spodní strana	20,98	1	4,77	1,13	Pomalá
Maximální rádius navlhčení [mm]	horní strana	20	0	0	0,00	Rychlé
	spodní strana	10	0	0	0,00	Malé
Rychlost šíření roztoku textilií [mm/s]	horní strana	3,72	0,21	5,65	0,24	Rychlá
	spodní strana	2,31	0,2	8,66	0,23	Střední
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny		-60,47	9,57	-15,83	10,83	Velmi slabá
Celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie (OMMC)		0,14	0,02	14,29	0,02	Velmi slabá

4.3.4.1 Vhodnost pro výrobu hasičského spodního prádla

V následujících tabulkách jsou uvedeny hodnoty 2. skupiny materiálů na přístroji MMT. Hodnoty jsou uvedeny ve stupních od 1 do 5. Tato skupina obsahuje nehořlavé materiály určené pro první vrstvu oděvů pro hasiče. Ministerstvo vnitra-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky vydalo vyhlášku pod názvem Technické podmínky pro pořízení věcného prostředku požární ochrany. Tato vyhláška určuje podmínky pro pořízení spodního prádla pro hasiče. Na základě této vyhlášky jsem vycházela s dalším vyhodnocením 2. skupiny materiálů, zda jsou vhodné pro použití na prádlo pro hasiče podle hodnot naměřených na přístroji MMT. Podle této vyhlášky by měl základní materiál spodního prádla splňovat tyto kritéria:

- Hodnota „One- way transport index (%)“, v překladu schopnost jednosměrného přenosu kapaliny je minimálně 3,5.
- Hodnota „Overall moisture management“, v překladu celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie (OMMC) je minimálně 3,5. [25]

Tab. 22 Hodnoty (ve stupních) naměřené přístrojem MMT- textilie Beta_1

		1. měření	2. měření	3. měření	průměr
Doba navlhčení [s]	horní strana	2.5	2.5	2.5	2.5
	spodní strana	5.0	3.5	3.5	4.0
Savost [%/s]	horní strana	2.0	2.0	2.0	2.0
	spodní strana	2.5	2.5	3.0	2.7
Maximální rádius navlhčení [mm]	horní strana	2.0	2.0	2.0	2.0
	spodní strana	2.0	2.0	2.0	2.0
Rychlost šíření vzorku textilií [mm/s]	horní strana	1.0	1.0	1.0	1.0
	spodní strana	2.5	1.5	1.5	1.8
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny		2.5	3.0	3.5	3.0
Celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie (OMMC)		2.0	2.0	2.5	2.2

Tab. 23 Hodnoty (ve stupních) naměřené přístrojem MMT- textilie Beta_2

		1. měření	2. měření	3. měření	průměr
Doba navlhčení [s]	horní strana	3.5	3.5	1.0	2.7
	spodní strana	3.0	3.5	3.0	3.2
Savost [%/s]	horní strana	1.0	1.0	1.0	1.0
	spodní strana	3.5	3.5	3.5	3.5
Maximální rádius navlhčení [mm]	horní strana	3.0	3.0	1.0	2.3
	spodní strana	2.0	2.0	1.0	1.7
Rychlost šíření vzorku textilií [mm/s]	horní strana	1.5	1.0	1.0	1.2
	spodní strana	1.0	1.0	1.0	1.0
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny		2.5	4.0	5.0	3.8
Celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie (OMMC)		2.0	3.0	3.5	2.8

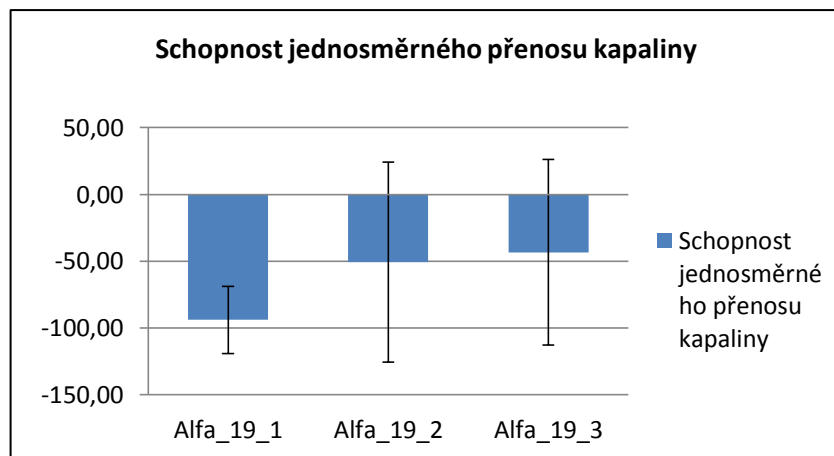
Tab. 24 Hodnoty (ve stupních) naměřené přístrojem MMT- textilie Beta_3

		1. měření	2. měření	3. měření	průměr
Doba navlhčení [s]	horní strana	4.0	4.5	5.0	4.5
	spodní strana	4.0	4.0	4.5	4.2
Savost [%/s]	horní strana	2.0	2.0	2.0	2.0
	spodní strana	2.0	2.0	2.0	2.0
Maximální rádius navlhčení [mm]	horní strana	4.0	4.0	4.0	4.0
	spodní strana	2.0	2.0	2.0	2.0
Rychlost šíření vzorku textilií [mm/s]	horní strana	4.0	4.0	4.5	4.2
	spodní strana	2.5	2.5	3.0	2.7
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny		1.0	1.5	1.0	1.2
Celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie (OMMC)		1.0	1.0	1.0	1.0

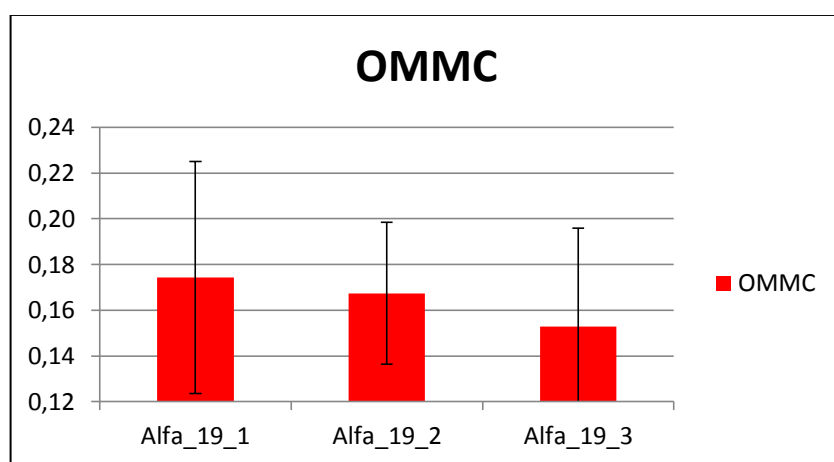
4.3.4.2 Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny a celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie

Textilie byly dále hodnoceny na základě dvou ukazatelů. Jedná se o schopnost jednosměrného přenosu kapaliny a celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie (OMMC).

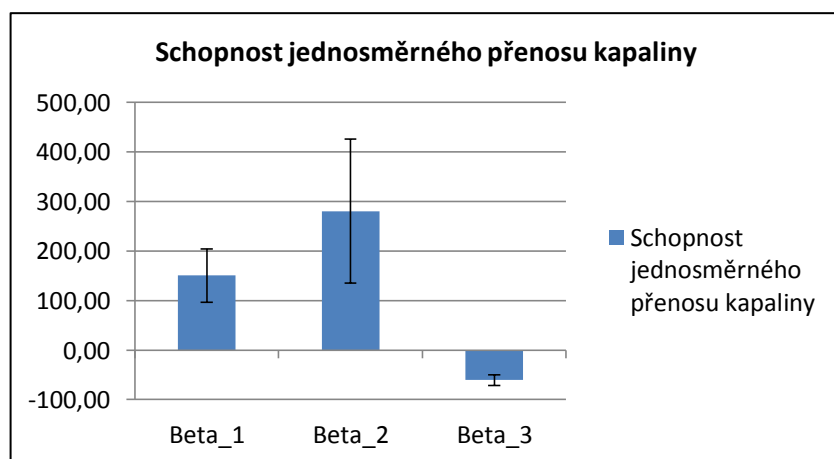
V grafech byly vyznačeny chybové úsečky. Chybové úsečky jsou používány ve statistických datech a zobrazují možnou chybu ve vztahu ke každému datovému bodu. Používají se tehdy, pokud potřebujeme zobrazit, v jakém rozsahu se může pohybovat skutečná hodnota od naměřené. Existuje několik druhů chybových úseček, v tomto případě byla vlastní hodnota v podobě intervalu spolehlivosti.



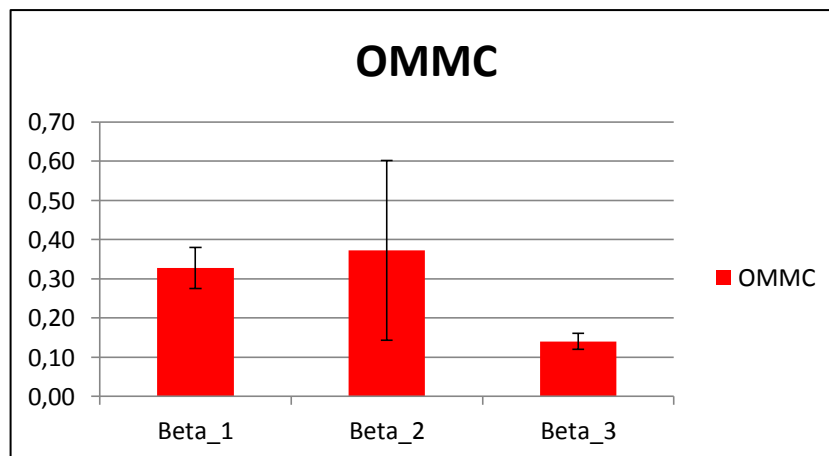
Graf 5 Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny u 1. skupiny materiálů



Graf 6 Celkový ukazatel managementu textilie (OMMC) u 1. skupiny materiálů



Graf 7 Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny u 2. skupiny materiálů



Graf 8 Celkový ukazatel managementu textilie (OMMC) u 2. skupiny materiálů

4.3.5 Dílčí závěr

Přístroj MMT vyhodnotil textilie 1. skupiny i 2. skupiny materiálů podle výše stanovených kritérií. U 1. skupiny materiálů obsahující textilie stejného materiálového složení, ale rozdílné struktury byly textilie přístrojem MMT vyhodnoceny následovně. Textilie Alfa_19_1, Alfa_19_2 a Alfa_19_3 byly přístrojem vyhodnoceny jako pomalu absorbující a pomalu schnoucí textilie.

2. skupina materiálů obsahující nehořlavé materiály vyznačující rozdílným materiálovým složením a rozdílnou strukturou pleteniny byly vyhodnoceny takto: Textilie Beta_1, Beta_2 a Beta_3 byly označeny jako pomalu absorbující a pomalu schnoucí textilie.

Dále byla hodnocena 2. skupina materiálů z hlediska vhodnosti pro použití pro hasiče. Hodnoceno bylo na základě dvou parametrů- schopnosti jednosměrného přenosu kapaliny a celkového managementu textilie a výsledkem bylo, že textilie Beta_1, Beta_2 a Beta_3 neodpovídá požadavkům pro výrobu spodního prádla pro hasiče.

4.4 Porovnání metod

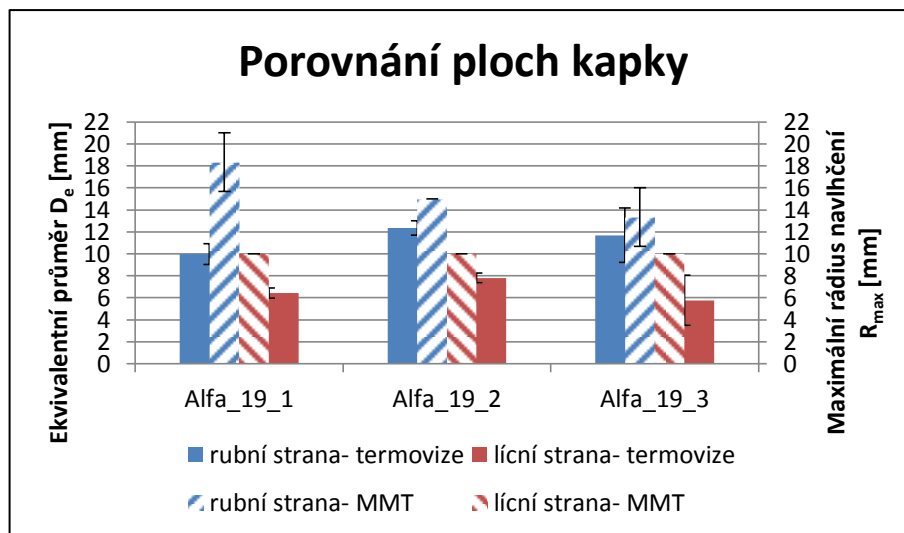
V závěru všech měření byly porovnány metody termografie a MMT. Obě metody pracují na jiných principech. Porovnání metod je pouze na základě trendu. U metody termovize byl syntetický pot vstřikován pipetou a ne vždy byl dávkován celý obsah pipety. U metody na přístroji MMT bylo vždy dávkováno stejné množství a kapalina byla pumpována pod tlakem. Proto vycházejí výsledky u metody termovize a MMT jinak.

U přístroje MMT měřicí plocha snímaná senzory udává jako výsledek hodnotu průměru. Šíření kapaliny ve skutečnosti neprobíhá kružnicovým způsobem, ale podle struktury materiálu se může šířit do elipsy. Naměřený průměr tak nebere v úvahu tento aspekt. U metody termovize lze kapku popsat na základě naměřené plochy a tvarových charakteristik kruhovitosti, protažení a orientaci. Tyto hodnoty přesněji popisují skutečný tvar kapky.

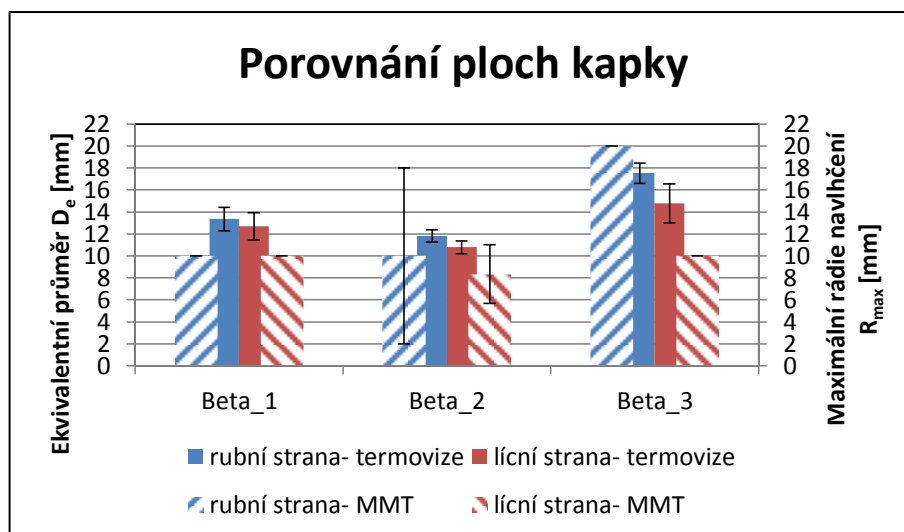
Pro lepší přehlednost bylo provedeno grafické znázornění. Takto byly porovnány obě skupiny měřených textilií. V grafu jsou porovnány průměrné hodnoty vypočtené z naměřených hodnot samostatně pro lící i rubní stranu textilie. V grafech jsou dále zaneseny chybové úsečky, kde byl zadán interval spolehlivosti.

Na hlavní svislé ose je zobrazen ekvivalentní průměr D_e v mm získaný u metody termovize. Na vedlejší svislé ose je maximální rádius navlhčení R_{max} v mm získaný u metody MMT. Ekvivalentní průměr určuje průměr kružnice, která má stejnou plochu jako odpovídající objekt a má stejný trend jako maximální rádius navlhčení.

Z grafu 9 a 10 je při porovnání metod vidět, že na rubní straně byla vždy větší nasáknutí než na lící straně textilie.



Graf 9 Porovnání ploch kapky- 1. Skupina



Graf 10 Porovnání ploch kapky- 2. Skupina

ZÁVĚR

Diplomová práce na téma Alternativní metoda měření transportu kapalné vlhkosti u funkčních materiálů byla zaměřena na tři experimenty. Testovány byly dvě skupiny textilií lišící se materiálovým složením a strukturou pleteniny určené pro první vrstvu oděvu. První skupina textilií je určena pro výrobu oděvů pro revmatiky a alergiky, druhá pro hasiče.

Návrhem experimentu pro zjištění šíření kapalné vlhkosti textilií pomocí termografické techniky se zabývala první část experimentální části. Experiment simuluje odvod potu od pokožky a šíření kapalné vlhkosti oděvem. Snímána byla rubní i lící strana textilie současně dvěma termovizními kamerami, aby bylo možné výsledky porovnat. Naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány. Snímky byly hodnoceny na základě plochy kapky v mm² po uplynutí 1, 2 a 3 minut. Jako nejvíce absorbující textilie byla u 1. skupiny zvolena textilie Alfa_19_2 (50% bavlna/30% smartcel senzitive/ 20% SeaCell pure). U druhé skupiny byla nejvíce absorbující zátažná interloková pletenina Beta_3 (50% kermel/ 50% VI FR). U metody termovize byly kromě plochy určeny charakteristiky kruhovitost, protažení a orientace poskytující informaci o tvaru samotné kapky.

Druhý experiment byl zvolen jako doplňkové měření k metodě termovize. Zabýval se stanovením emisivity textilních materiálů pomocí Thermapotu. Experiment byl proveden za stejných podmínek jako metoda termovize. Výsledkem byla průměrná hodnota emisivity u každé textilie.

Poslední experiment se zabýval měřením šíření kapalné vlhkosti na zařízení Moisture management tester. Obě skupiny textilií byly změřeny a vyhodnoceny na základě několika ukazatelů a přístrojem byl určen typ textilie. U 1. skupiny materiálů vyznačující se stejným materiálovým složením, ale odlišnou strukturou pleteniny byly textilie Alfa_19_1, Alfa_19_2 a Alfa_19_3 vyhodnoceny jako textilie pomalu absorbující a pomalu schnoucí. Jako pomalu absorbující a pomalu schnoucí textilie byly vyhodnoceny i textilie 2. skupiny zahrnující textilie Beta_1, Beta_2 a Beta_3. Tato skupina textilií se vyznačuje odlišným materiálovým složením i odlišnou strukturou pleteniny. Dále byla 2. skupina textilií hodnocena na základě dvou ukazatelů, zda jsou

vhodná pro výrobu spodního prádla pro hasiče. Výsledkem tohoto hodnocení bylo určeno, že textilie Beta_1, Beta_2 a Beta_3 nejsou vhodná pro spodní prádlo pro hasiče.

V závěru experimentální části byly metody termovize a MMT porovnány. Při realizaci experimentu pomocí termovize bylo zjištěno, že ne vždy byl dávkován celý obsah pipety a proto se výsledky někdy hodně lišily. Dále nebylo z technických důvodů možné, aby byly kamery umístěny kolmo proti měřené textilii, tudíž byl obraz zkreslen. U experimentu na přístroji MMT měřící plocha snímaná senzory udává jako výsledek hodnotu průměru. Ovšem šíření kapaliny ve skutečnosti neprobíhá kružnicovým způsobem, ale podle struktury materiálu se může šířit do elipsy. Naměřený průměr tedy nebere v úvahu tuto skutečnost. Metoda termovize byla pro určení plochy kapky a jiných veličin přesnější než metoda MMT. Metoda termovize je podle mého názoru pro měření šíření kapalné vlhkosti vhodná. Pokud by bylo dosaženo dávkování vždy celého obsahu kapaliny z pipety bude metoda termovize přesnější.

Na základě výsledků ze všech měření bych dle mého názoru bych zvolila textilii Beta_3 jako nejvhodnější pro první vrstvu oděvu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DRASTICH, A. Netelevizní zobrazovací systémy. VUT v Brně, Brno 2001. 80 – 214 – 1974 – 1
- [2] SVOBODA, Jiří. *Termodiagnostika: učební texty*.
- [3] KOLÁŘOVÁ, Jitka. *Analýza šíření kapalně vlhkosti textilií*. Liberec, 2013. Diplomová práce. TUL.
- [4] FLIR SYSTEMS, ThermaCAM TM S 60 – Users manual. FLIR Systems AB. Sweden: Publ. No. 1557538 2004
- [5] Thermography: Cameras. *Edevis* [online]. 2014 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: http://www.edevis.com/en/thermography_camera_xseries.php
- [6] ČSN ISO 18434-1: *Monitorování stavu a diagnostika strojů- Termografie- Část 1: Všeobecné postupy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [7] Pro- pasiv: Termovize. *Oblasti použití termovize* [online]. 17.3. 2012. [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://www.pro-pasiv.cz/diagnostika/oblasti-pouziti-termovize/>
- [8] EBME. In: *Clinical engineering: Medical thermography* [online]. 31.10. 2005 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://www.ebme.co.uk/articles/clinical-engineering/65-medical-thermography/>
- [9] MIJOVIC, B., I. S. CUBRIC, Z. SKENDERI a U. REISCHL. Thermographic assessment of sweat evaporation inside clothing systems. *Fibers and textiles in Eastern Europe*, 2012, s. 6.
- [10] FÁBERA, J., K. ADÁMEK a M. STEJSKAL. Application of thermovision to evaluating fabric unevenness heating during drying and to comparing drying performances. *STRUTEX TU Liberec* 2006, s. 6.

- [11] JORDEVA, S., S. KJORTOSEVA a N. KALOJANOV. Research of thermo-physiological comfort of single jersey knitted structures with method of thermo-vision. Textile science and economy, Srbsko, 2012, s. 9.
- [12] HAVELKA, A., A. HALASOVÁ a J. DVOŘÁK. The heat and moisture transport through clothing material. STRUTEX TU Liberec, 2005, s. 4.
- [13] DAS, B., A. DAS, V. K. KOTHARI, R. FANGUIERO a M. DE ARAUJO. Moisture transmission through textiles: Part I: Processes involved in moisture transmission and the factors at play. AUTEX Research Journal, 2007, s. 11.
- [14] MOLLY ADLER, M. a W. K. WALSH. Mechanism of transient moisture transport between fabrics. Textile Research Journal, 1984, s. 10.
- [15] SCHEURELL, D. M., S. M. SPIVAK a R. S. HOLLIES. Dynamic surface wetness of fabrics in relation to clothing comfort. Textile Research Journal, 1985, s. 6.
- [16] ŠTOČKOVÁ, Hana. *Textilní zbožížnalství: Pleteniny*. Liberec TUL, 2006. skriptu.
- [17] Moira: Používaná vlákna. [online]. [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://firma.moira.cz/af37-pouzivana-vlakna.html>
- [18] Polartec: Products. [online]. [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://polartec.com/products>
- [19] Coolmax: Why coolmax fabric. [online]. [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: http://coolmaxfabric.com/g_en/home.aspx?imgload=1
- [20] VÚB a.s.: Textilní výroba. *Speciální textilie: Nehořlavé funkční prádlo* [online]. 2014 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://www.vubas.cz/specialni-textilie>
- [21] ČSN 80 0164. *Metoda zkoušení stálobarevnosti v potu*. 1986.
- [22] TMVSS a. s.: Aplikace. *Termovize* [online]. [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://www.tmvss.cz/Aplikace/termovize.html>

- [23] Thermaspot: Speciální samolepící štítek pro úpravu povrchu před bezkontaktním měřením teploty. In: *TMVSS: termovize*[online]. [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://www.tmvss.cz/images/Clanky/NOVINKY/thermaspray-spot.pdf>
- [24] MOISTURE MANAGEMENT TESTER, M290 MMT – Users manual. SDL ATLAS, Rev. 4. 1(11/10), SN:808G0007.
- [25] TECHNICKÉ PODMÍNKY PRO POŘÍZENÍ VĚCNÉHO PROSTŘEDKU POŽÁRNÍ OCHRANY: *Spodní prádlo pro hasiče*. Ministerstvo vnitra-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru České republiky, 2013.
- [26] KOVÁŘ, Radko. *Pletení*. TUL. Liberec, 2001, 96 s.
- [27] KOVÁŘ, Radko. *Struktura a vlastnosti textilií 2*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, Fakulta textilní, 1998. ISBN 80-708-3266-5.
- [28] NIS-Elements AR: *Uživatelská příručka*. verze 4.10.03. 2012.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Palety používané u termogramů	13
Obr. 2 Měřicí systém [2]	14
Obr. 3 Termokamera S60 [4]	15
Obr. 4 Termokamera X6540sc [5]	15
Obr. 5 Termovizní snímek kalibrace	34
Obr. 6 Kalibrace kamer pomocí alobalu a plíšku- snímky z obou kamer	34
Obr. 7 Konstrukce komory (vlevo), sestava (vpravo)	35
Obr. 8 Umístění stojánku a kamer	36
Obr. 9 Nákres sestavy	36
Obr. 10 Textilie Alfa_19_1- maximální plocha kapky- rubní strana (vlevo),	41
Obr. 11 Textilie Alfa_19_2- maximální plocha kapky- rubní strana (vlevo),	41
Obr. 12 Textilie Alfa_19_3- maximální plocha kapky- rubní strana (vlevo),	41
Obr. 13 Textilie Beta_1- maximální plocha kapky- rubní strana (vlevo),	42
Obr. 14 Textilie Beta_2- maximální plocha kapky- rubní strana (vlevo),	43
Obr. 15 Textilie Beta_3- maximální plocha kapky- rubní strana (vlevo),	43
Obr. 16 Thermapot	48
Obr. 17 Rámeček s textilií umístěny na stojánku	49
Obr. 18 Přístroj Moisture management tester [24]	53
Obr. 19 Doba navlhčení	54

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 První skupina materiálů	32
Tabulka 2 Druhá skupina materiálů	33
Tabulka 3 Tvarové charakteristiky- rubní strana- 1. skupina	38
Tabulka 4 Tvarové charakteristiky- rubní strana- 2. skupina	38
Tabulka 5 Tvarové charakteristiky- lící strana- 1. skupina	39
Tabulka 6 Tvarové charakteristiky- lící strana- 2. skupina	39
Tabulka 7 Hodnoty pro přepočet	40
Tabulka 8 Průměrné hodnoty maximální plochy kapky- 1. skupina	40
Tabulka 9 Průměrné hodnoty maximální plochy kapky- 2. skupina	42
Tabulka 10 Průměrné hodnoty ekvivalentního průměru- rubní strana	45
Tabulka 11 Průměrné hodnoty ekvivalentního průměru- lící strana	46
Tabulka 12 Hodnoty emisivity- rubní strana	50
Tabulka 13 Hodnoty emisivity- lící strana	51
Tabulka 14 Statistické vyhodnocení emisivity- rubní strana	51
Tabulka 15 Statistické vyhodnocení- lící strana	52
Tabulka 16 Statistické vyhodnocení- textilie Alfa_19_1	56
Tabulka 17 Statistické vyhodnocení- textilie Alfa_19_2	57
Tabulka 18 Statistické vyhodnocení - textilie Alfa_19_3	57
Tabulka 19 Statistické vyhodnocení - textilie Beta_1	58
Tabulka 20 Statistické vyhodnocení- textilie Beta_2	58
Tabulka 21 Statistické vyhodnocení - textilie Beta_3	59
Tabulka 22 Hodnoty (ve stupních) naměřené přístrojem MMT- textilie Beta_1	60
Tabulka 23 Hodnoty (ve stupních) naměřené přístrojem MMT- textilie Beta_2	60
Tabulka 24 Hodnoty (ve stupních) naměřené přístrojem MMT- textilie Beta_3	61

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Proces smáčení u termografie- 1. skupina	44
Graf 2 Proces smáčení u termografie- 2. skupina	44
Graf 3 Porovnání ekvivalentního průměru na rubní straně.....	46
Graf 4 Porovnání ekvivalentního průměru na lící straně.....	47
Graf 5 Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny u 1. skupiny materiálů	62
Graf 6 Celkový ukazatel managementu textilie (OMMC) u 1. skupiny materiálů.....	62
Graf 7 Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny u 2. skupiny materiálů	62
Graf 8 Celkový ukazatel managementu textilie (OMMC) u 2. skupiny materiálů.....	63
Graf 9 Porovnání ploch kapky- 1. skupina	65
Graf 10 Porovnání ploch kapky- 2. Skupina.....	65

PŘÍLOHOVÁ ČÁST

PŘÍLOHA 1- Alkalický pot.....	76
PŘÍLOHA 2- Postup měření experimentu s použitím termovizní techniky	76
PŘÍLOHA 3- Zpracování snímků.....	77
PŘÍLOHA 4- Naměřené hodnoty u metody termovize	78
PŘÍLOHA 5- Přepočet hodnot.....	82
PŘÍLOHA 6- Ekvivalentní průměr.....	83
PŘÍLOHA 7- Typy textilií podle MMT	85
PŘÍLOHA 8- Postup měření na přístroji MMT	88
PŘÍLOHA 9- Naměřené hodnoty na přístroji MMT	90
PŘÍLOHA 10- Tabulka hodnocení u MMT	93

SEZNAM OBRÁZKŮ PŘÍLOHOVÉ ČÁSTI

Obrázek 1 Voděodolná textilie	85
Obrázek 2 Vodu odpuzující textilie	86
Obrázek 3 Pomalu absorbující a pomalu schnoucí textilie.....	86
Obrázek 4 Rychle absorbující a pomalu schnoucí textilie.....	87
Obrázek 5 Rychle absorbující a rychle schnoucí textilie.....	87
Obrázek 6 Vodě propustné textilie	87
Obrázek 7 Textilie s managementem vlhkosti.....	88
Obrázek 8 Hodnocení textilií přístrojem MMT	93

SEZNAM TABULEK PŘÍLOHOVÉ ČÁSTI

Tabulka 1 Hodnoty naměřené na rubní straně v mm^2 - textilie Alfa_1	78
Tabulka 2 Hodnoty naměřené na rubní straně v mm^2 - textilie Alfa_2	78
Tabulka 3 Hodnoty naměřené na rubní straně v mm^2 - textilie Alfa_3	78
Tabulka 4 Hodnoty naměřené na rubní straně textlie v mm^2 - textilie Beta_1.....	79
Tabulka 5 Hodnoty naměřené na rubní straně v mm^2 - textilie Beta_2.....	79
Tabulka 6 Hodnoty naměřené na rubní straně v mm^2 - textilie Beta_3.....	79
Tabulka 7 Hodnoty naměřené na lící straně v mm^2 - textilie Alfa_1	80
Tabulka 8 Hodnoty naměřené na lící straně textlie v mm^2 - textilie Alfa_2	80

Tabulka 9 Hodnoty naměřené na lící straně textilie v mm ² - textilie Alfa_3	80
Tabulka 10 Hodnoty naměřené na lící straně v mm ² - textilie Beta_1	81
Tabulka 11 Hodnoty naměřené na lící straně v mm ² - textilie Beta_2	81
Tabulka 12 Hodnoty naměřené na lící straně v mm ² -textilie Beta_3	81
Tabulka 13 Hodnoty pro přepočet	82
Tabulka 14 Přepočítané hodnoty- rubní strana-1. skupina	82
Tabulka 15 Přepočítané hodnoty- rubní strana-2. skupina	82
Tabulka 16 Přepočítané hodnoty- lící strana-1. skupina.....	83
Tabulka 17 Přepočítané hodnoty- lící strana-2. skupina.....	83
Tabulka 18 Ekvivalentní průměr- rubní strana-1.skupina materiálů	83
Tabulka 19 Ekvivalentní průměr- rubní strana-2.skupina materiálů	84
Tabulka 20 Ekvivalentní průměr- lící strana-1.skupina materiálů.....	84
Tabulka 21 Ekvivalentní průměr- lící strana- 2. skupina materiálů.....	84
Tabulka 22 Hodnoty naměřené přístrojem MMT- textilie Alfa_19_1	90
Tabulka 23 Hodnoty naměřené přístrojem MMT- textilie Alfa_19_2	90
Tabulka 24 Hodnoty naměřené přístrojem MMT- textilie Alfa_19_3	91
Tabulka 25 Hodnoty naměřené přístrojem MMT- textilie Beta_1	91
Tabulka 26 Hodnoty naměřené přístrojem MMT- textilie Beta_2	92
Tabulka 27 Hodnoty naměřené přístrojem MMT- textilie Beta_3	92

PŘÍLOHA 1- Alkalický pot

Syntetický pot se skládá z těchto složek (pro obsah 0,5 litru):

skládá se z těchto složek (pro obsah 0,5 litru):

- 0,25 g monohydrátu L- histidinmonohydrochloridu ($C_6H_9O_2N_3 \cdot HCl \cdot H_2O$)
- 2,5 g chloridu sodného (NaCl)
- 2,5 g dodekahydrátu hydrogenfosforečnanu disodného ($Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$) nebo 1,25 g dihydrátu středního fosforečnanu sodného ($Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$) pH roztoku se upraví na 8 roztokem hydroxidu sodného o koncentraci (NaOH)= 0,1 mol/l

PŘÍLOHA 2- Postup měření experimentu s použitím termovizní techniky

Po měření experimentu s použitím termovizní techniky byl vypracován následující postup. Pro současné spuštění kamer bylo využito 2 osob. Ti byli označeni jako osoba č. 1 a osoba č. 2.

1. Připevnit kamery na stativy. Umístění stativů do požadované vzdálenosti od měřicího rámečku.
2. Zapnout PC.
3. Otevřít program ThermoCAM Researcher Pro 2.7 a FLIR R&D software.
4. Propojit kamery s PC.
5. Nasát kapalinu (syntetický pot) do pipety.
6. Připevnit upínací rámeček na stojánek.
7. Klávesou *Connect* připojit obě kamery.
8. Provést kalibraci obrazu.
9. Zakrýt kabinu černou textilií.
10. Vložit pravou ruku do otvoru, uchopit pipetu (osoba č. 1).

11. Uchopit zařízení pro měření času.
12. Nastavit myš u PC na tlačítko *Záznam* (software FLIR R&D) a tlačítko *Start* (software ThermaCAM Researcher Pro 2.7)- (osoba č. 2).
13. Zapnout měření času (osoba č. 1).
14. Zmáčknout pipetu (osoba č. 1) a současně spustit snímání (osoba č. 2).
15. Ukončit záznam po uplynutí doby 3 minut.
16. Udělat snímek textilie současně na obou kamerách.
17. Kontrola záznamů a uložení snímků.
18. Sundat upínací rámeček s textilií ze stojánku.
19. Opakovat kroky 1-17.

PŘÍLOHA 3- Zpracování snímků

Zpracován byl podrobný postup, jak byly zpracovány snímky u metody termovize, který je uveden zde:

1. Spustit program NIS- Elements AR 4.00.08.
2. Otevřít snímek s kalibrací.
3. Zkalibrovat- Kalibrace- Rychlá kalibrace.
4. Otevřít video ve formátu avi nebo snímek ve formátu jpeg- Kalibrovat používaný dokument (zvolit příslušnou hodnotu kalibrace v mm/px).

Kalibrace pro měření z rubní strany- 0,149mm/px a 0,152mm/px

Kalibrace pro měření z lící strany- 0,211 mm/px a 0,484mm/px

5. Binární- Definice prahování
6. ROI- obdélníkový
7. Měření- Provést měření

Poznámka: Pro určení plochy kapky je možné použít i jiné nástroje nebo metody, např. Anotace a interaktivní měření- Plocha- Automatická detekce.

8. Exportovat data do MS Excel.

PŘÍLOHA 4- Naměřené hodnoty u metody termovize

Tabulka 1 Hodnoty naměřené na rubní straně v mm²- textilie Alfa_1

Počet měření	1. minuta	2. minuta	3. minuta
1	61,41	70,12	71,45
2	74,62	86,18	88,5
3	73,04	82,6	84,76
4	51,34	59,32	60,29
5	94,91	108,02	112,68
6	34,33	48,77	56,49

Tabulka 2 Hodnoty naměřené na rubní straně v mm²- textilie Alfa_2

Počet měření	1. minuta	2. minuta	3. minuta
1	115,38	130,48	134,66
2	116,1	136,86	143,12
3	82,29	91,72	94,37
4	99,36	114,32	117,74
5	92,59	104	109,49
6	104,22	119,52	124,11

Tabulka 3 Hodnoty naměřené na rubní straně v mm²- textilie Alfa_3

Počet měření	1. minuta	2. minuta	3. minuta
1	14,96	22,98	24,97
2	93,51	108,12	112,68
3	122,17	139,97	146,36
4	x	x	x
5	126,09	141,99	146,69
6	118,24	137	142,71

Tabulka 4 Hodnoty naměřené na rubní straně textilie v mm²- textilie Beta_1

Počet měření	1. minuta	2. minuta	3. minuta
1	55,13	146,78	161,53
2	36,07	88,03	100,28
3	15,88	72,83	109,12
4	10,21	117,29	142,47
5	44,01	150,64	168,11
6	42,23	147,3	164,05

Tabulka 5 Hodnoty naměřené na rubní straně v mm²- textilie Beta_2

Počet měření	1. minuta	2. minuta	3. minuta
1	9,07	64,88	91,88
2	16,56	79,86	108,67
3	15,88	86,44	127,73
4	34,26	92,79	123,64
5	14,52	63,98	98,23
6	21,33	82,81	110,94

Tabulka 6 Hodnoty naměřené na rubní straně v mm²- textilie Beta_3

Počet měření	1. minuta	2. minuta	3. minuta
1	200,33	258,41	270,43
2	170,83	249,1	251,83
3	152,23	246,38	263,17
4	138,39	219,84	235,26
5	x	x	x
6	129,09	184,9	191,25

Tabulka 7 Hodnoty naměřené na lící straně v mm²- textilie Alfa_1

Počet měření	1. minuta	2. minuta	3. minuta
1	25,02	29,79	31,66
2	24,84	31,08	32,37
3	27,69	33,71	35,17
4	20,17	24,36	25,69
5	34,55	40,83	43,77
6	15,94	23,29	27,87

Tabulka 8 Hodnoty naměřené na lící straně textilie v mm²- textilie Alfa_2

Počet měření	1. minuta	2. minuta	3. minuta
1	41,5	49,38	52,09
2	40,16	50,18	52,58
3	27,61	32,73	34,15
4	38,83	47,69	50,58
5	39,49	46,22	49,51
6	38,38	46,04	48,89

Tabulka 9 Hodnoty naměřené na lící straně textilie v mm²- textilie Alfa_3

Počet měření	1. minuta	2. minuta	3. minuta
1	6,14	10,29	11,71
2	36,42	44,26	47,64
3	35,93	43,95	46,53
4	x	x	x
5	35,75	42,65	45,15
6	33,66	41,05	43,68

Tabulka 10 Hodnoty naměřené na lící straně v mm²- textilie Beta_1

Počet měření	1. minuta	2. minuta	3. minuta
1	53,26	115	130,64
2	48,68	82,73	90,66
3	38,01	77,57	102,47
4	90,38	158,47	191,68
5	84,13	122,13	132,85
6	72,43	107,88	120,06

Tabulka 11 Hodnoty naměřené na lící straně v mm²- textilie Beta_2

Počet měření	1. minuta	2. minuta	3. minuta
1	28,08	50,88	72,53
2	42,49	68,25	87,75
3	43,56	78,08	104,58
4	45,33	77,83	101,82
5	30,75	58,25	81,59
6	48,03	80,2	102,17

Tabulka 12 Hodnoty naměřené na lící straně v mm²-textilie Beta_3

Počet měření	1. minuta	2. minuta	3. minuta
1	176,88	201,01	208,63
2	182,99	207,31	214,19
3	178,5	201,7	210,19
4	154,4	176,9	185,66
5	68,11	77,87	82,55
6	128,36	147,33	153,26

PŘÍLOHA 5- Přepočet hodnot

Tabulka 13 Hodnoty pro přepočet

1. skupina materiálů		2. skupina materiálů	
Rubní strana	Lící strana	Rubní strana	Lící strana
1,35	1,12	1,05	1,33

Přepočítané hodnoty min průmětu a protaženy jsou uvedeny v následujících tabulkách pro 1. skupinu a 2. skupinu.

Tabulka 14 Přepočítané hodnoty- rubní strana-1. skupina

		Min průmět	Protažení
Alfa_19_1	průměr	9,59	3,05
	sm. odchylka	1,40	0,42
	variační koeficient	19,77	18,52
Alfa_19_2	průměr	12,39	2,81
	sm. odchylka	1,43	0,41
	variační koeficient	15,59	19,47
Alfa_19_3	průměr	13,91	2,00
	sm. odchylka	3,87	0,24
	variační koeficient	37,62	16,42

Tabulka 15 Přepočítané hodnoty- rubní strana-2. skupina

		Min průmět	Protažení
Beta_1	průměr	12,89	1,50
	sm. odchylka	1,56	0,22
	variační koeficient	12,74	15,42
Beta_2	průměr	10,51	1,73
	sm. odchylka	1,09	0,25
	variační koeficient	10,91	15,27
Beta_3	průměr	16,02	1,52
	sm. odchylka	1,34	0,08
	variační koeficient	8,81	5,79

Tabulka 16 Přepočítané hodnoty- lici strana-1. skupina

		Min průmět	Protažení
Alfa_19_1	průměr	6,35	1,58
	sm. odchylka	0,49	0,18
	variační koeficient	8,69	12,71
Alfa_19_2	průměr	7,83	1,57
	sm. odchylka	0,84	0,20
	variační koeficient	12,02	14,40
Alfa_19_3	průměr	6,18	1,31
	sm. odchylka	3,08	0,10
	variační koeficient	55,80	8,62

Tabulka 17 Přepočítané hodnoty- lici strana-2. skupina

		Min průmět	Protažení
Beta_1	průměr	13,99	2,23
	sm. odchylka	1,10	0,21
	variační koeficient	10,49	12,67
Beta_2	průměr	10,51	2,91
	sm. odchylka	1,24	0,44
	variační koeficient	15,66	20,04
Beta_3	průměr	14,34	2,63
	sm. odchylka	2,22	0,09
	variační koeficient	20,60	4,70

PŘÍLOHA 6- Ekvivalentní průměr

Tabulka 18 Ekvivalentní průměr- rubní strana-1.skupina materiálů

Počet měření	Alfa_19_1	Alfa_19_2	Alfa_19_3
1	9,54	13,09	5,64
2	10,62	13,5	11,98
3	10,39	10,96	13,65
4	8,76	12,24	x
5	11,98	11,81	13,67
6	8,48	12,57	13,48

Tabulka 19 Ekvivalentní průměr- rubní strana-2.skupina materiálů

Počet měření	Beta_1	Beta_2	Beta_3
1	14,34	10,82	18,56
2	11,3	11,76	17,91
3	11,79	12,75	18,31
4	13,47	12,55	17,31
5	14,63	11,18	x
6	14,63	11,88	15,6

Tabulka 20 Ekvivalentní průměr- lící strana-1.skupina materiálů

Počet měření	Alfa_19_1	Alfa_19_2	Alfa_19_3
1	6,35	8,14	3,86
2	6,42	8,18	7,79
3	6,69	6,59	7,7
4	5,72	8,03	0,24
5	7,47	7,94	7,58
6	5,96	7,89	7,46

Tabulka 21 Ekvivalentní průměr- lící strana- 2. skupina materiálů

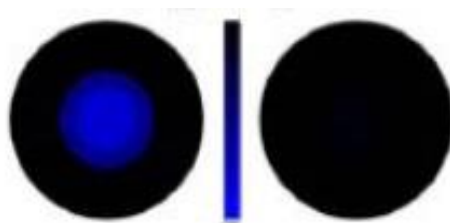
Počet měření	Beta_1	Beta_2	Beta_3
1	12,9	9,61	16,3
2	10,74	10,57	16,51
3	11,42	11,54	16,36
4	15,62	11,39	15,38
5	13,01	10,19	10,25
6	12,36	11,41	13,97

PŘÍLOHA 7- Typy textilií podle MMT

Přístroj MMT dokáže rozlišit několik typů textilií. Podle několika faktorů jsou textilie rozděleny do těchto sedmi hlavních skupin:

Voděodolná textilie

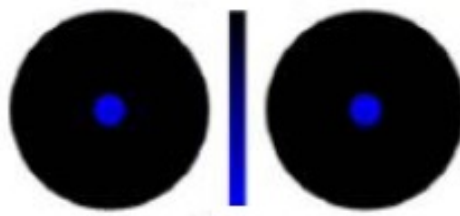
- Velmi pomalá absorpce roztoky
- Velmi pomalé šíření kapaliny skrz textilií
- Nedochází k jednosměrnému přenosu i k penetraci



Obrázek 1 Voděodolná textilie

1. Vodu odpuzující textilie

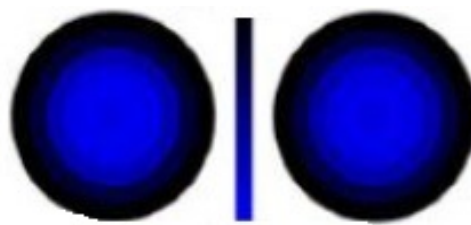
- Nedochází k navlhčení textilie
- Nedochází k absorpci
- Nedochází k šíření roztoku textilií
- Jednosměrný přenos je slabý a bez působení vnějších vlivů



Obrázek 2 Vodu odpuzující textilie

2. Pomalu absorbující a pomalu schnoucí textilie

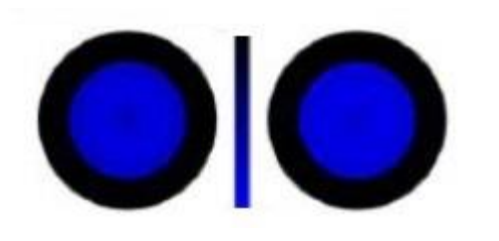
- Pomalá absorpce
- Pomalé šíření roztoku skrz textili
- Jednosměrný přenos je slabý



Obrázek 3 Pomalu absorbující a pomalu schnoucí textilie

3. Rychle absorbující a pomalu schnoucí textilie

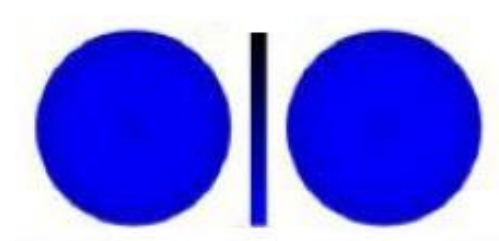
- Střední až rychlé namočení textilie
- Střední až rychlá absorpce
- Oblast šíření kapaliny je malá
- Šíření roztoku textilií je pomalé
- Jednosměrný přenos je slabý



Obrázek 4 Rychle absorbující a pomalu schnoucí textilie

4. Rychle absorbující a rychle schnoucí textilie

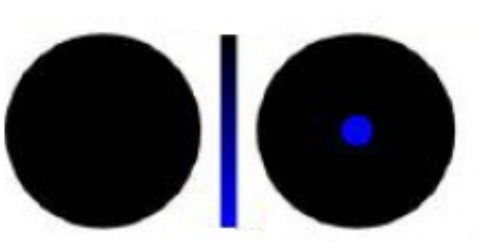
- Střední až rychlé namočení textilie
- Střední až rychlá absorpce
- Oblast šíření kapaliny je velká
- Šíření roztoku textilií je rychlé
- Jednosměrný přenos je slabý



Obrázek 5 Rychle absorbující a rychle schnoucí textilie

5. Vodě propustné textilie

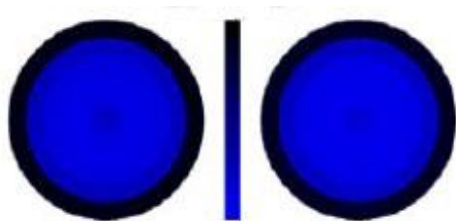
- Malá oblast šíření kapaliny textilií
- Jednosměrný přenos roztoku je výborný



Obrázek 6 Vodě propustné textilie

6. Textilie s managementem vlhkosti

- Střední až rychlé namočení textilie
- Střední až rychlá absorpce
- Oblast šíření kapaliny na spodní straně textilie je velká
- Šíření roztoku na spodní straně textilie je rychlé
- Jednosměrný přenos je dobrý až výborný



Obrázek 7 Textilie s managementem vlhkosti

PŘÍLOHA 8- Postup měření na přístroji MMT

Zde je uveden podrobný postup při měření na přístroji MMT.

1. Spustit program MMT.
2. Kliknout na *File* (soubor) na *New* (nový) a tím je test zahájen.
3. Zdvihnout horní čidlo přístroje a vložit na dolní čidlo předpřipravený vzorek. Vzorek je do přístroje vkládán rubní stranou nahoru (k hornímu čidlu). Tato strana přichází při běžném kontaktu do styku s pokožkou. Lící strana textilie je vystavena klimatickým podmínkám.
4. Spustit horní čidlo přístroje tak, aby volně spočívalo na testované textili.
5. Zavřít kryt přístroje MMT.

6. Nastavit dobu provozu čerpadla a dobu měření. Doby čerpadla nastavit na 20 sekund a dobu měření na 120 sekund.
7. Ujistit se, zda se na obrazovce zobrazilo okno „Water Content vs. Time“. Pokud ne, kliknout na menu „View“ (zobrazit a zvolit „Water Content vs. Time“).
8. Zvolit menu „Run“ (provoz), kliknout na „Start“ a tím je test spuštěn.
9. Po ukončení zkoušky jsou softwarem vypočítány příslušné ukazatele, které jsou následně zobrazeny na monitoru počítače.
10. Zdvihnout horní čidlo přístroje do aretované pozice a vyjmout testovaný vzorek.
11. Očistit horní i spodní čidlo čistým a suchým hadříkem. Ujistit se zda na čidlech nezůstala zbytková vlhkost.
12. Vložit další vzorek do přístroje a opakovat kroky 8-13.
13. Po dokončení zkoušek jedné skupiny vzorků kliknout na „File“, potom „Save“ a přiřadit souboru název.

PŘÍLOHA 9- Naměřené hodnoty na přístroji MMT

V následujících tabulkách jsou uvedeny jednotlivé ukazatele pro každou textilií a jejich hodnoty získané z přístroje MMT. Tyto hodnoty byly dále statisticky vyhodnoceny. První skupina materiálů zahrnuje tyto textilie:

Tabulka 22 Hodnoty naměřené přístrojem MMT- textilie Alfa_19_1

		1. měření	2. měření	3. měření
Doba navlhčení	horní strana	1,872	2,387	3,651
	spodní strana	1,872	2,577	2,902
Savost horní strany tkaniny	horní strana	26,176	22,3378	27,2266
	spodní strana	22,7745	20,364	24,2879
Maximální rádius navlhčení [mm]	horní strana	20	20	15
	spodní strana	10	10	10
Rychlost šíření roztoku textilií [mm/s]	horní strana	4,4026	3,6758	2,8018
	spodní strana	3,3644	2,645	2,0069
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny		-123,9061	-70,9789	-86,6746
Celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie (OMMC)		0,2325	0,1669	0,1236

Tabulka 23 Hodnoty naměřené přístrojem MMT- textilie Alfa_19_2

		1. měření	2. měření	3. měření
Doba navlhčení	horní strana	3,651	5,054	4,586
	spodní strana	3,557	4,586	4,68
Savost horní	horní strana	29,6221	18,9824	34,9294
	spodní strana	27,4179	24,5907	37,4103
Maximální rádius navlhčení [mm]	horní strana	15	15	15
	spodní strana	10	10	10
Rychlost šíření roztoku textilií [mm/s]	horní strana	2,7554	2,1705	2,388
	spodní strana	2,1834	1,8217	1,8752
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny		-66,6325	37,3734	-122,4396
Celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie (OMMC)		0,147	0,2061	0,1491

Tabulka 24 Hodnoty naměřené přístrojem MMT- textilie Alfa_19_3

		1. měření	2. měření	3. měření
Doba navlhčení	horní strana	4,305	4,119	4,961
	spodní strana	4,212	4,212	5,054
Savost	horní strana	26,4055	28,795	20,6619
	spodní strana	27,1649	28,1263	33,0609
Maximální rádius navlhčení [mm]	horní strana	15	15	10
	spodní strana	10	10	10
Rychlost šíření roztoku textilií [mm/s]	horní strana	2,4354	2,4494	1,5108
	spodní strana	1,8997	1,9458	1,4725
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny		-76,9223	-96,0579	42,7182
Celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie (OMMC)		0,1227	0,1292	0,2064

Tabulka 25 Hodnoty naměřené přístrojem MMT- textilie Beta_1

		1. měření	2. měření	3. měření
Doba navlhčení	horní strana	21,622	23,416	26,769
	spodní strana	2,808	4,774	4,68
Savost	horní strana	21,4716	22,4582	15,3541
	spodní strana	34,9398	33,9194	41,8918
Maximální rádius navlhčení [mm]	horní strana	10	10	10
	spodní strana	10	10	10
Rychlost šíření roztoku textilií [mm/s]	horní strana	0,4766	0,4433	0,3763
	spodní strana	1,8047	1,1613	1,135
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny		99,9463	137,4766	213,5041
Celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie (OMMC)		0,3029	0,2882	0,3926

Tabulka 26 Hodnoty naměřené přístrojem MMT- textilie Beta_2

		1. měření	2. měření	3. měření
Doba navlhčení	horní strana	5,444	8,143	120,0
	spodní strana	12,464	8,05	10,951
Savost	horní strana	8,7324	8,7186	0
	spodní strana	57,7985	56,9382	61,7849
Maximální rádius navlhčení [mm]	horní strana	15	15	0
	spodní strana	10	10	5
Rychlost šíření roztoku textilií [mm/s]	horní strana	1,0744	0,7899	0
	spodní strana	0,53	0,6981	0,4489
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny		114,5074	298,8466	427,862
Celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie (OMMC)		0,3156	0,518	0,6438

Tabulka 27 Hodnoty naměřené přístrojem MMT- textilie Beta_3

		1. měření	2. měření	3. měření
Doba navlhčení	horní strana	4,212	3,276	2,995
	spodní strana	4,306	3,65	3,089
Savost	horní strana	22,1932	19,106	22,5124
	spodní strana	21,6782	19,5658	21,7054
Maximální rádius navlhčení [mm]	horní strana	20	20	20
	spodní strana	10	10	10
Rychlost šíření roztoku textilií [mm/s]	horní strana	3,4869	3,6697	3,9947
	spodní strana	2,1776	2,1647	2,5946
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny		-63,1301	-47,6429	-70,632
Celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie (OMMC)		0,1306	0,1263	0,1654

PŘÍLOHA 10- Tabulka hodnocení u MMT

Index \ Stupeň		1	2	3	4	5
Doba navlhčení (s)	Horní strana	>=120	20-119	5~19	3~5	<3
		Žádné navlhčení	Pomalé	Střední	Rychlé	Velmi rychlé
	Spodní strana	>=120	20-119	5~19	3~5	<3
		Žádné navlhčení	Pomalé	Střední	Rychlé	Velmi rychlé
Savost (%/s)	Horní strana	0~10	10~30	30~50	50~100	>100
		Velmi pomalá	Pomalá	Střední	Rychlá	Velmi rychlá
	Spodní strana	0~10	10~30	30~50	50~100	>100
		Velmi pomalá	Pomalá	Střední	Rychlá	Velmi rychlá
Maximální rádius navlhčení	Horní strana	0~7	7~12	12~17	17~22	>22
		Žádné navlhčení	Malé	Střední	Rychlé	Velmi rychlé
	Spodní strana	0~7	7~12	12~17	17~22	>22
		Žádné navlhčení	Malé	Střední	Rychlé	Velmi rychlé
Rychlost šíření kapaliny (mm/s)	Horní strana	0~1	1~2	2~3	3~4	>4
		Velmi pomalá	Pomalá	Střední	Rychlá	Velmi rychlá
	Spodní strana	0~1	1~2	2~3	3~4	>4
		Velmi pomalá	Pomalá	Střední	Rychlá	Velmi rychlá
Schopnost jednosměrného přenosu kapaliny		<-50	-50~100	100~200	200~400	>400
		Velmi slabá	Slabá	Dobrá	Velmi dobrá	Výborný
OMMC		0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	>0.8
		Velmi slabá	Slabá	Dobrá	Velmi dobrá	Výborný

Obrázek 8 Hodnocení textilií přístrojem MMT